Der Einsatz von Nutzwertanalyse und Simulation zur Auswahl von Montageformen

Erläuterung von Bewertungsproblematik und Rechenverfahren am praktischen Fall einer Serienfertigung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
(Dr. rer. pol.)

der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von:
Dipl.-Kfm. Schönfelder, Georg, aus Weiden

1976

Der Einsatz von Nutzwertanalyse und Simulation zur Auswahl von Montageformen.

Erläuterung von Bewertungsproblematik und Rechenverfahren am praktischen Fall einer Serienfertigung.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors
der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
(Dr. rer. pol.)

der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von: Dipl.-Kfm. Schönfelder, Georg
aus Weiden

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Referent: Prof. Dr. M. Meyer

Korreferent: Prof. Dr. P. Mertens

21.12.1976 (Datum des Promotionstermins)

1. Gegenstand und Zielsetzung der Arbeit 1
1.1. Abgrenzung der Untersuchung 3
1.1.1. Produktspezifische Angaben 3
1.1.1.1. Größe 3
1.1.1.2. Sonderbehandlungen 4
1.1.1.3. Variantenerzeugung 5
1.1.2. Organisationsspezifische Angaben 5
1.1.2.1. Mechanisierung 5
1.1.2.2. Übrige Unternehmensbereiche 7
1.1.2.3. Planungssystematik 9
1.2. Bewertung 10
1.2.1. Quantifizierbare Einflußgrößen 11
1.2.2. Qualitative Einflußgrößen 14
1.2.2.1. Arbeitszufriedenheit 16
1.2.2.1.1. Zusammenhang Arbeitszufriedenheit-Fluktuation 20
1.2.2.1.2. Zusammenhang Arbeitszufriedenheit-Absentismus 24
1.2.2.1.3. Zusammenhang Arbeitszufriedenheit-Leistung 26
1.2.2.2. Ursachen von Arbeitsunzufriedenheit 30
1.2.2.3. Motivationstheorien zur Erklärung von Arbeitsunzufriedenheit 30

2. Realisierte Lösungen 38
2.1. Traditionelle Ansätze 38
2.2. Strukturierte Systeme 40

3. Entwicklung eines Lösungsverfahrens 51
3.1. Auswahl der Montageform 51
3.1.1. Entscheidungsvariable 51

3.1.1.1. Organisationsform 51
3.1.1.1.1. Personenzahl 52
Vorgabezeit
3.1.1.1.2. Stückzahl 58
3.1.1.1.3. Verfügbare Montagezeit 59
3.1.1.2. Räumliche Anordnung 60
3.1.1.2.1. Paralleleinrichtungen 61
3.1.1.2.2. Anordnungsformen 62
3.1.2. Nebenbedingungen 78
3.1.2.1. Stückzahlerfüllung 78
3.1.2.2. Flächenbedarf 78
3.1.2.3. Stationenzahlen 79
3.1.3. EDV-unterstützte Erzeugung von Montageformalternativen 79
3.1.3.1. Programmbeschreibung ALTW 79
3.1.3.1.1. Daten 80
3.1.3.1.2. Komplettmontagealternative 83
3.1.3.1.3. Zwischenformalternativen 83
3.1.3.1.4. Linienmontagealternativen 85
3.1.3.1.5. Berechnung des Flächenbedarfs 85
3.1.3.1.6. Graphische Darstellung der Ergebnisse 90
3.1.3.1.7. Verbale Darstellung der Ergebnisse 90
3.1.3.2. Ergebnisbeispiele 100
3.2. Bewertungsverfahren 104
3.2.1. Qualitative Bewertung 104
3.2.1.1. Zielsystem 106
3.2.1.1.1. Definition Zielsystem 107
3.2.1.1.2. Bedeutung eines Zielsystems 107
3.2.1.1.3. Anforderungen an ein Zielsystem 108

3.2.1.2 Aufstellung des Zielsystems zur Bewertung von Montagealternativen 109

3.2.1.2.1 Quantifizierbare Kriterien 111

3.2.1.2.1.1 Investitionen 111

3.2.1.2.1.2 Unterhaltskosten 115

3.2.1.2.1.3 Lohn u. Lohngemeinkosten 118

3.2.1.2.1.4 Taktverluste 121

3.2.1.2.1.5 Springer

3.2.1.2.1.6 An- u. Umlernverfahren 122

3.2.1.2.2 Menschliche Arbeitsbedingungen 122

3.2.1.2.2.1 Monotonie 122

3.2.1.2.2.2 Dispositionsspielraum 123

3.2.1.2.2.3 Kommunikation 123

3.2.1.2.2.4 Montage vollst. Produkte 123

3.2.1.2.2.5 Gruppenintegration 123

3.2.1.2.2.6 Gleitzeitmöglichkeiten 123

3.2.1.2.3 Arbeitsumfeld 124

3.2.1.2.3.1 Pausenraum 124

3.2.1.2.3.2 Farbgestaltung 125

3.2.1.2.3.3 Staub u. Lärm 125

3.2.1.2.3.4 Teileanlieferung 126

3.2.1.2.3.5 Raumbedarf 126

3.2.1.2.4 Ablaufgestaltung 127

3.2.1.2.4.1 Ergonomie 127

3.2.1.2.4.2 Teiletransport 127

3.2.1.2.4.3 Überschaubarkeit 128

3.2.1.2.4.4 Quantitativer Teileumlauf 128

3.2.1.2.5 Flexibilität

3.2.1.2.5.1 Typenflexibilität 129

3.2.1.2.5.2 Stückzahlflexibilität 129

3.2.1.2.5.3 Personalflexibilität 130

3.2.1.2.5.4 Technische Flexibilität 130

3.2.1.2.6 Umweltbeziehungen 130

3.2.1.3. Gewichtung der Zielkriterien 131

3.2.1.4. Bewertung der Alternativen 134

3.2.1.4.1. Angabe von Scorewerten 136

3.2.1.4.2. Angabe von Wahrscheinlichkeitsverteilungen 142

3.2.1.4.3. Wertsynthese der Einzelverteilungen 147

3.2.1.5. Auswahl der günstigsten Alternative 161

3.2.2. Quantitative Bewertung 173

3.2.2.1. Zielsetzung 173

3.2.2.2. Modellbeschreibung 174

3.2.2.2.1. Dateneingabe 177

3.2.2.2.2. Anpassung der Vorgabezeit 183

3.2.2.2.3. Berücksichtigung von Fluktuation und Absentismus 184

3.2.2.2.4. Pufferberechnung 190

3.2.2.2.5. Ablaufsimulation 196

3.2.2.2.5.1. Bearbeitungszeiten 205

3.2.2.2.5.2. Stördauern 216

3.2.2.2.5.3. Störzeitpunkte 216

3.2.2.2.5.4. Wartezeitermittlung 218

3.2.2.2.5.5. Montagefehler 221

3.2.2.2.5.6. Platzwechsel 225

3.2.2.2.5.7. Zeitführung 232

3.2.2.2.5.8. Verknüpfung mit Absentismusdaten 234

3.2.2.2.6. Hilfsprogramme zur Durchführung der Simulation 237
3.2.2.2.6.1. Zufallszahlenerzeugung 237
3.2.2.2.6.2. Intervallfixierung 237
3.2.2.2.6.3. Maximum - Minimum-Suche 242
3.2.2.2.7. Umrechnung in Jahreswerte 249
3.2.2.2.8. Bewertung 250
3.2.2.2.9. Investitionsrechnung 266
3.2.2.2.10. Ergebnisausgabe 269

4. Praktische Anwendung 275
4.1. Datenbeschaffung 275
4.1.1. Daten zur Alternativenerzeugung 275
4.1.2. Daten zur qualitativen Bewertung 276
4.1.3. Daten zur quantitativen Bewertung 277
4.1.3.1. Alternativenunabhängige Daten 276
4.1.3.2. Alternativenspezifische Daten 287
4.2. Praktische Beispiele 293
4.2.1. Alternativenerzeugung 294
4.2.2. Qualitative Bewertung 305
4.2.3. Quantitative Bewertung 309
4.3. Anwendungsmöglichkeiten 319

5. Ausblick 321

Anhang: Abkürzungsverzeichnis 322
Literaturverzeichnis 323

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546226_0049

1. Gegenstand und Zielsetzung der Arbeit

Fragen, die im Zusammenhang mit der Fertigung in einem Industriebetrieb immer wieder auftreten, hängen wesentlich von der Art des Produktionsprozesses ab. So stehen z.B. in Betrieben der Urproduktion ablauforientierte oder ausrüstungsspezifische Probleme im Vordergrund, während in konsumnahen Industriebereichen der Montageorganisation große Bedeutung zukommt. [1)]

Neben rein wirtschaftlich-technischen Fragen werden immer mehr auch sozial-psychologische Gesichtspunkte bei Entscheidungen zur Montageorganisation als wichtig erkannt. Die Vielfalt von Einflußgrößen, die zur Entscheidungsfindung herangezogen werden müssen, wird dadurch beträchtlich erhöht, die Berücksichtigung aller Interdependenzen sehr aufwendig. Erschwerend wirkt auch die individuell verschiedene Bewertung und Gewichtung dieser Aspekte, da sie einer zahlenmäßigen Erfassung nicht oder nur schwer zugänglich sind. Im Rahmen der traditionellen Entscheidungsvorbereitungen werden diese Punkte entweder ganz vernachlässigt oder mit geringer Gewichtung zusätzlich zu vorhandenem Zahlenmaterial herangezogen. Nachdem sich vor allem durch hohe Fluktuationsraten und Abwesenheitszahlen gezeigt hat, daß dieses Vorgehen bei der Beurteilung von Montageorganisationen oft nicht an der Wirklichkeit orientiert war, soll versucht werden, ein Entscheidungsmodell zur Ermittlung "optimaler" Montageorganisationsformen zu konzipieren, das alle bekannten Determinanten berücksichtigt. Der Praktiker soll befähigt werden, Montageabläufe unter Beachtung aller relevanten Einflußgrößen zu planen.

---

1) Untersuchungen in USA und England zeigten, daß bei der Produktion von Konsumgütern 60 % und bei der Produktion in der Metallverarbeitung 40 % der Herstellkosten durch Montageoperationen verursacht werden. (Quelle: IREDALE, R., 1966; zitiert nach KERN, H. und SCHUHMANN, M., 1970, S. 158)

Das EDV-unterstützte Planungssystem zeigt verschiedene Ablauforganisationen von Montagearbeiten auf und stellt zwei einfach zu handhabende Bewertungsverfahren zur Verfügung.

Die Bewertung macht eine Verknüpfung qualitativer und quantitativer Gesichtspunkte notwendig. Der daraus resultierende subjektive Charakter aller Auswahlentscheidungen wird bewußt in Kauf genommen, da mit Hilfe der Verfahren der Nutzwertanalyse (vgl. ZANGEMEISTER, C. (1979)) jedes einzelne Beurteilungskriterium einer kritischen Analyse unterzogen wird und so die Entscheidungsfindung systematisch erfolgt.

Neben dieser Art der Bewertung steht der Versuch, die qualitativen Merkmale über Indikatoren, wie Krankenstand und Fluktuation, einer quantitativen Beurteilung zugänglich zu machen.

1.1. Abgrenzung der Untersuchung

In Industriebetrieben wird im allgemeinen bei der Einführung neuer Produkte, bei Änderungen an bestehenden Erzeugnissen oder bei wesentlichen Stückzahländerungen eine Neugestaltung des Montageablaufs notwendig.

Lösungen für die räumliche und organisatorische Gestaltung der Zusammenarbeit zwischen den Arbeitskräften eines Betriebes, die im Rahmen der Montage von Einzelteilen und/oder Baugruppen gemeinsam zur Herstellung eines Produktes beitragen, sollen hier gesucht werden.

Führt man sich die Montageorganisationen in verschiedenartigen Unternehmen, wie z.B. der Automobilindustrie und der Elektroindustrie, vor Augen, so wird klar, daß eine Reihe unternehmensspezifischer Probleme auftreten, die eine einheitliche Bewältigung nicht zulassen.

Da ein Entscheidungsmodell, das alle relevanten Merkmale berücksichtigt, einem Unternehmensgesamtmodell sehr nahe kommen würde, müssen einige Einschränkungen vorgenommen werden. Diese sind bezogen auf Verhältnisse, die in dem Außenwerk eines bekannten deutschen Konzerns vorgefunden wurden, das diese Untersuchung wesentlich unterstützt hat.

1.1.1. Produktspezifische Angaben

1.1.1.1. Größe

Wichtigste produktspezifische Angabe ist die Größe der Erzeugnisse. Es ist klar. daß bei der Montage von PKW (z.B. Volvo, vgl. S. 41), PKW-Motoren (z.B. Saab, vgl. S. 43) oder Schaltern (z.B. Klöckner Moeller, vgl. S.44)

verschiedene Anforderungen an Transportsysteme, Pufferlager oder Teilebevorratung gestellt werden.

Bei großen Produkten kann die Lage nicht manuell verändert werden. Man benötigt aufwendige Hilfseinrichtungen, hat weniger Freiheitsgrade in der Zuordnung der Arbeitsgänge zu den Stationen und ist an leistungsfähige, somit teure Transporteinrichtungen gebunden.

Bei kleinen Produkten, die auch von weiblichen Mitarbeitern transportiert werden können und deren Bearbeitung auf Werktischen erfolgen kann, ist der Transport auf Schoßbändern, Werkstückträgern, in Kisten, auf kleinen Wagen, usw. möglich, und Veränderungen der Lage sind, soweit sinnvoll, manuell durchführbar.

1.1.1.2. Erfordernis von Sonderbehandlungen

Auch besonders empfindliche Produkte oder Bauteile, (z.B. Elektronikelemente), die vor Staub, Feuchtigkeit oder Stoß geschützt werden müssen, machen zusätzliche Überlegungen notwendig. Die Einrichtung von staubfreien oder klimatisierten Werkshallen ist jedoch meist eine grundsätzliche Notwendigkeit und beeinflußt die Wahl der Montageorganisation nicht, sofern Randbedingungen, wie z.B. verfügbarer Raum, beachtet werden.

Bei der Bearbeitung oder Prüfung bestimmter Produkte müssen die Mitarbeiter vor Lärm oder Geruchsentwicklung geschützt werden. Die erforderlichen Einrichtungen hierzu können von der Anzahl der Parallelmontageeinrichtungen abhängen und so die Auswahlentscheidung beeinflussen. Die Anwendbarkeit von Entscheidungsmodellen wird dadurch nicht beeinträchtigt, da

diese Einrichtungen im Rahmen der Investitionsbetrachtungen quantifizierbar sind.

Im vorliegenden praktischen Fall beschränken sich die Überlegungen auf die Montage kleiner Produkte. Sofern spezielle Einrichtungen notwendig sind, werden sie in die Investitionsplanungen einbezogen. Die Montage kann immer auf Werktischen oder mit Hilfe v. Werkstückträgern auf dem Transportmittel erfolgen. Alle Produkte sind sowohl für Komplettmontage, als auch für Linienmontage geeignet.

1.1.1.3. Variantenerzeugung

Die hier betrachteten Erzeugnisse bedingen durch den Einbau in verschiedenartige Endprodukte, auf die sie genau abgestimmt sein müssen (z.B. Motoren), eine Zunahme von Sonderwünschen. Das kann zusätzliche Arbeiten oder den Wegfall von Arbeitselementen bedeuten. Die Anpassungsfähigkeit einer Organisationsalternative an die Typenvariation ist somit ebenfalls bedeutsam für die Alternativenauswahl.

1.1.2. Organisationsspezifische Angaben

Auch organisatorische Gesichtspunkte machen Abgrenzungen und Einschränkungen notwendig, um ein realisierbares Entscheidungsmodell aufbauen zu können.

1.1.2.1. Mechanisierung

Eine wesentliche Entscheidung bei der Gestaltung von Montageorganisationen ist die verwirklichte Mechanisierung, die sich in verschiedenen Investitionssummen ausdrückt.

Für eine gegebene Ausbringungsmenge stellt die Automatisierung

das Maximum der Mechanisierung dar. Darunter versteht man: "einen Vorgang mit technischen Mitteln so einzurichten, daß der Mensch weder ständig noch in einem erzwungenen Rhythmus für den Ablauf des Vorganges tätig zu werden braucht." (DOLEZALEK, C. M., 1966) [1)]

Das Minimum der Mechanisierung ist unter sonst gleichen Voraussetzungen durch die Gestaltung der Arbeitsplätze gegeben, die gerade die technisch einwandfreie Durchführung eines Vorganges zuläßt.

Über den Verlauf der Investitionsfunktion zwischen maximaler und minimaler Mechanisierung kann allgemein keine Aussage gemacht werden.

Folgende Kurvenverläufe sind denkbar:

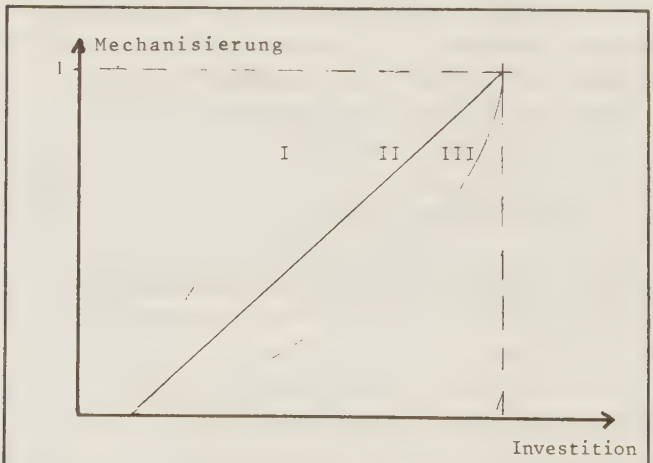


Abb. 1 Zusammenhang Investition-Mechanis.

1) Zitiert nach ROPOHL, G. (1971), S. 50

Am wahrscheinlichsten ist die mit I bezeichnete Kurve, da mit zunehmender Annäherung an die Automatisierung relativ mehr investiert werden muß, um eine weitere Mechanisierung zu erreichen.

Neben den höheren Investitionen steigen bei zunehmender Mechanisierung auch die Kosten für Wartung und Instandsetzung, die sachliche Verteilzeit,der Umrüstaufwand und, sofern die erforderliche Maschinenbedienung kompliziert ist, Lohnkosten pro Zeiteinheit (höhere Lohngruppen).

Dem stehen sinkende Lohnkosten, wegen des geringeren Anteils manueller Arbeiten, gegenüber.

Da in der Praxis der Verlauf der in Abb. 1 angenommenen Funktionalbeziehung, und vor allem der Zusammenhang zwischen Investition und Vorgabezeit (vgl. NESTLER, H. und PAPTISTELLA, R., 1974, S. 7) nicht ermittelt werden konnte, soll zur Entscheidungsfindung von einer für alle Alternativen gleichen Mechanisierung ausgegangen werden.

1.1.2.2. Übrige Unternehmensbereiche

In einem Unternehmen hängen alle Bereiche wechselseitig voneinander ab. Jede Entscheidung muß als Teil eines Systems angesehen werden. Das heißt, alle Auswirkungen auf andere Unternehmensbereiche müssen untersucht werden.

Wenn von Investitionen, also von Kapitalverwendung, gesprochen wird, müßte auch die Kapitalbeschaffung betrachtet werden. Denn mit dem steigenden Kapitalbedarf steigen auch die Kosten der Kapitalbeschaffung. Bleibt diese außer Ansatz, kann trotz positiver Bewertung eines Investitionsvorhabens eine Realisierung nicht sinnvoll sein, wenn die Kosten der

Kapitalbeschaffung (Kreditzins) die berechnete Verzinsung des eingesetzten Kapitals übersteigen.

Diese Wechselwirkung wird hier vernachlässigt, da keine Daten verfügbar sind. Angenommen werden kann, daß die Investitionsmittel für alle Alternativen vorhanden sind und eine Alternative in jedem Fall realisiert werden muß.

Die Abhängigkeit vom Verkauf der Produkte wird nur statisch berücksichtigt. Eine vorgegebene Ausbringungsmenge ist die Basis für die Vergleichbarkeit der verschiedenen Alternativen. Schwankungen, die durch geänderte Ausgangswerte der Alternativen entstehen, werden toleriert. Übererfüllung der Vorgabemenge wird als absetzbar angenommen. Mindermengen führen nicht zu good-will Verlusten. Eine Variation der Erlöse pro Stück bei Mengenveränderungen liegt nicht vor, da die Liefermengen zu festen Preisen mit dem Stammhaus abgerechnet werden.

Die Beschaffung von Teilen und die Ablieferung von Fertigerzeugnissen erfolgt oft nicht zeitgleich mit der Montage. Daraus können sich Probleme mit Teilevorlauf und Lagerhaltung ergeben.

Da jedoch in allen Fällen "eine kontinuierliche Fertigung vorliegt, die keine Lagerhaltungsprobleme verursacht" (NESTLER, H. und PAPTISTELLA, R., 1974, S. 8) und die Materialbeschaffung bei weitgehend gleicher Ausbringung für alle Alternativen gleich problematisch bzw. unproblematisch ist, kann die Berücksichtigung von Beschaffung und Lagerhaltung entfallen.

Die Personalabteilung wird bei Auswahl und Einstellung neuer Mitarbeiter herangezogen und muß nach Kündigungen oder anders begründeten Neubesetzung von Arbeitsplätzen tätig werden.

Es wird angenommen, daß grundsätzlich Mitarbeiter der geforderten Qualifikation verfügbar sind, da durch Schulungsmaßnahmen oder Umsetzungen aus anderen Unternehmensbereichen die Anforderungen meist erfüllt werden können. Qualifikationsunterschiede, die sich in der Höhe der Lohngruppe manifestieren, werden beachtet. Sofern Arbeiten der Personalabteilung in die Bewertung eingehen, werden nur die entscheidungsrelevanten Anteile quantifiziert.

Die Bewältigung der anfallenden verwaltungstechnischen Arbeiten, wie Abrechnung, Führung von Urlaubslisten usw. wird vorausgesetzt. Be- oder Entlastung in Abhängigkeit von der Organisationsform wird für Meister und deren Hilfspersonal unterstellt und bei der Bewertung beachtet.

1.1.2.3. Planungssystematik

Im Rahmen dieser Planungsüberlegungen werden, für bestimmte Typen und Stückzahlen pro Periode, Organisationsvarianten erzeugt. Arbeitsplatzaufbau und Zuweisung einzelner Arbeitsgänge zu den Stationen werden noch nicht beschrieben. Der Ausgangspunkt kann dabei die Planung eines Neubaus oder die Umgestaltung bestehender Montagehallen sein. In jedem Fall muß die Einstufung in die Phase der Grobplanung erfolgen (vgl. auch NESTLER, H. und PAPTISTELLA, R., 1974, S. 2). Das impliziert die Integration von Investitionsüberlegungen, Personalbeschaffungsproblemen, Flexibilitätsgesichtspunkten bei Personalausfällen etc., Nur pauschal können Informationen der Feinplanungsphase (z.B. exakte Taktverluste, exakte Investitionskosten) berücksichtigt werden.

1.2. Zielsetzung

Gewinnerzielung als klassische Zielsetzung der Betriebswirtschaftslehre, muß auch heute die Handlungsmaxime eines Entscheidungsträgers sein. Allerdings nur dann, wenn sichergestellt ist, daß bei der Wahl von Maßnahmen zur Zielerreichung deren Bewertung umfassend erfolgt. Alle Aspekte, die das Gesamtziel beeinflussen, müssen beachtet werden. Neben der Zielsetzung des Gewinnstrebens nennt HEINEN, E. (1966, S. 59 - 82) Umsatzstreben, Wirtschaftlichkeitsstreben, Sicherung des Unternehmenspotentials, Sicherung der Liquidität, Unabhängigkeits- und Vereinigungsstreben, Prestige- und Machtstreben, ethische und soziale Bestrebungen und sonstige Zielvorstellungen als handlungsbestimmend.

Das unternehmerische Handeln wird also nicht von einem einzigen Ziel beherrscht, sondern ist die Folge der, je nach Hierarchiestufe und/oder Einstellung des Entscheidungsträgers verschiedenen, Zielsetzungen. Um als Handlungsmaxime fungieren zu können, muß neben der Definition des Zieles "auch die Festlegung des Ausmaßes, in dem die Zielerreichung anzustreben ist" (HEINEN, E., 1966, S. 82) erfolgen. Maximierung, Minimierung oder Befriedigung bestimmter Forderungen können solche Festlegungen sein. Von einer Montageeinrichtung wird man erwarten, daß die Erfüllung einer vorgegebenen Stückzahl und die Einhaltung von Qualitätsnormen wirtschaftlich erfolgt. Diese Wirtschaftlichkeit wird im allgemeinen anhand einer Investitionsrechnung nachgewiesen, die zukünftige Ein- und Auszahlungen einander gegenüberstellt und auf die Gegenwart bezieht. Die Bestimmung der relevanten Zahlungsströme erfolgt mit Hilfe von technisch begründbaren Erwartungen, bezieht also quantifizierbare Elemente in die Berechnungen ein.

Häufig reicht die Beachtung dieser quantitativen Größen nicht aus, um eine Entscheidung im Sinne des Gesamtzieles beurteilen zu können, da auch (qualitative) ethische und soziale Bestrebungen Teil des Gesamtzieles sind, oder weil kaum vorhersehbare menschliche Verhaltensweisen zu (quantitativen) Zahlungsströmen führen. Dieses Mangels war man sich in den meisten Fällen bewußt und versuchte, durch nachgeschaltete qualitative Überlegungen, eine Entscheidung zu überprüfen.

Zum folgenden werden die Einflußgrößen sowohl quantitativer, als auch qualitativer Ziele dargestellt.

1.2.1. Quantifizierbare Einflußgrößen

Alle von der Montageorganisation beeinflußten, unmittelbar in Kosten ausdrückbaren Größen, wie variable Fertigungskosten, Gemeinkosten (sofern im Einzelfall entscheidungsrelevant), Kosten durch Taktverluste, Wartungsaufwand usw. werden als quantifizierbare Einflußgrößen bezeichnet.

Die variablen Fertigungskosten umfassen alle Kostenarten, die sich bei jeder Veränderung der Fertigungsmenge ebenfalls ändern (z.B. direkte Materialkosten, Energiekosten usw.).

Gemeinkosten sind Kosten, die nicht unmittelbar durch ein Produkt verursacht werden und deshalb nur indirekt verrechnet werden können. Wenn eine Verbindung zwischen Gemeinkosten und Montageorganisation besteht, wie z.B. bei Hilfslöhnen und Gehältern für Meister, werden diese berücksichtigt.

An abgetakteten Fließlinien entstehen dadurch Kosten, daß wegen der Unteilbarkeit einzelner Arbeitsgänge und der Beach-

tung von Reihenfolgebedingungen nicht allen Arbeitsplätzen der gleiche Arbeitsumfang zugewiesen werden kann (KILBRIDGE, M. und WESTER, L., 1961, S. 69 ff.). Die Zeitdifferenz aus der Arbeitszeit der höchtbelasteten Station und der Vergleichsstation heißt Taktverlust und wird den Arbeitskräften unter Berücksichtigung eines durchschnittlichen Leistungsgrades vergütet.

Die Höhe der Taktverluste kann zwar nicht als Funktion der Taktzeit angegeben werden, dennoch besteht ein funktionaler Zusammenhang, der immer eine Sägezahnkurve ergibt. (Ein Beispiel einer solchen Sägezahnkurve ist in Abb. 2 dargestellt.) Für jede Stationenzahl existiert also ein Taktverlustminimum, das durch die Wahl einer geeigneten Taktzeit erreicht werden kann (vgl. HARDECK, W., SCHÖNFELDER, G., 1973).

Tendenziell kann man annehmen, daß die in der Praxis erreichbaren Taktverlustwerte mit sinkender Stationenzahl ebenfalls sinken.

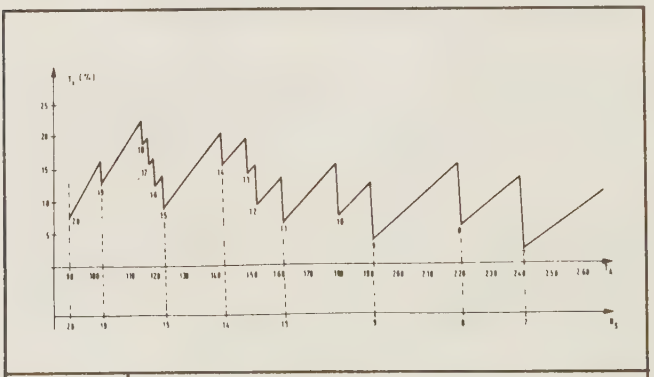


Abb. 2 Funktionaler Zusammenhang zwischen Taktverlust und Taktzeit

Auch bei BEEK, H.G. v. (1973, S. 20) werden Abstimmungsverluste als Funktion der Anzahl von Stationen dargestellt (vgl. Abb. 3).

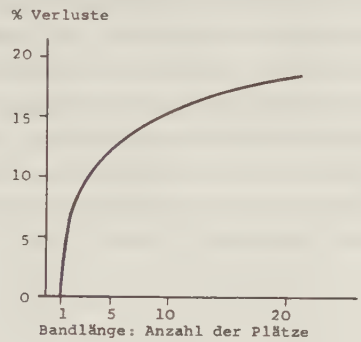


Abb. 3	Abstimmverluste - Zahl der Stationen

Unter Wartungsaufwand werden die Kosten vorbeugender Instandhaltungsmaßnahmen verstanden, die entweder in Abhängigkeit von der Maschinenbelegung oder der Zeit entstehen. [1] Eine genauere Analyse der quantifizierbaren Kriterien erfolgt unten (vgl. 3.2.1.2. und 3.2.2.).

Allgemein umfassen die quantifizierbaren Einflußgrößen die im Rahmen traditioneller Investitionsüberlegungen berücksichtigten Werte.

---

1) Zur Planung von Instandhaltungsmaßnahmen vgl. MERTENS, P. und GRIESE, J. (1972, S. 177 ff.) und GROTHUS, H. (1973)

1.2.2. Qualitative Einflußgrößen

Eine Beachtung von Faktoren, die über die genannten quantitativen Größen hinaus ebenfalls die Güte einer Montageorganisation bestimmen, erfolgt in nennenswertem Umfang erst seit wenigen Jahren. Ende der 60er Jahre wurde in den skandinavischen Ländern und etwas später auch in den übrigen Industrienationen die Frage gestellt, ob eine ständig weitergehende Unterteilung der Arbeiten und die Abhängigkeit der Arbeitskräfte voneinander, bzw. von Maschinen, die Ursache für hohe Fluktuationsraten oder hohe Abwesenheitszeiten und mangelnde Fertigungsqualität sind. [1] Damit wurde eine Reihe von Forschungsarbeiten und Versuchen initiiert. [2]

---

1) vgl. z.B. BEEK, v. H.G. (1973)
BEHRENDT, E. (1971),
DIEBSCHLAG, W. (1974),
ELLINGER, Th. (1974),
FISCHER, R. (1973),
GOTTSCHALL, D. und JANDER, P.M. (1973),
HUBER-LUTZ, P. (1974),
OSTERLAND, M. (1973),
VILMAR, F. (1974),
KELLNER, W. (1974),
KERN, H., SCHUMANN, M. (1970),
KIRN, A. und KRAUSE, M. (1974),
ohne Verfasser (1974 - 1),
SCHARMANN, Th. (1973),
ULICH, E., GROSKURTH, R., BRUGGEMANN, A. (1973),
PENTZLIN, K. (1974)

2) Verschiedene Experimente in Norwegen und Schweden werden in: "Theorie und Praxis selbststeuernder Arbeitsgruppen" von HEINRICH, M., STEINMANN, H. und SCHREYÖGG, G., Arbeitspapier Nr. 41 des betriebswirtschaftlichen Instituts der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, kritisch untersucht.

Versuche, die Taktbindung aufzuheben und die Selbständigkeit der einzelnen Mitarbeiter zu erhöhen, wurde bekannt von Volvo, [1] Saab, [2] Fiat, [3] Philips, [4] Klöckner-Moeller, [5] IBM, [6] Audi, [7] VW, [8] Bosch, [9] Motorola, [10] Wolf, [11] und aus der Uhrenindustrie. [12]

Alle Experimente wurden in einer Zeit der Hochkonjunktur begonnen und waren noch nicht abgeschlossen, als die Konjunkturabschwächung der Jahre 1974/75 eintrat. Dadurch wurden die Resultate der Versuche von Einflüssen überlagert, deren Wirkung nicht isoliert werden kann. Bei Beurteilung allzu euphorischer Erfolgsmeldungen zum Abbau der Fluktuation oder zur Reduktion der Abwesenheitszeiten ist also Skepsis angebracht, da nicht eindeutig zu trennen ist, welcher Anteil der gemessenen Erfolge auf konjunkturelle (oder andere) Einflüsse zurückzuführen ist und welcher auf die Organisation des Arbeitsablaufs.

---

1) GIBSON, Ch. H. (1973)
LIVINGSTONE, F. C. (1972)
MULLINS, P. J.
RÜHL, G. (1973, S. 191 ff.)
ohne Verfasser (1974 - 2)
SEIFERT, E. (1974)
LINGMAN, G. (1974)

2) RÜHL, G. (1973, S. 193 ff.)
LIVINGSTONE, F. C. (1972

3) RÜHL, G. (1973, S. 187 ff.)

4) RÜHL, G. (1973, S. 189)
WEIL, R. (1973)
GROTHUS, H. (1972)
HERTOG, F.J. den und KERKHOFF, W.H.C. (1974)

5) GOTTSCHALL, D. (1973 - 2)
ohne Verfasser (1974 - 3)

6) WEERTZ, P. (1974)

7) ohne Verfasser (1974 - 4)

8) ohne Verfasser (1976)

9) HAUG, G. (1973)

10) ohne Verfasser (1972)

11) GOTTSCHALL, D. (1974)

12) REUTEBUCH, R. (1971)

Alle genannten Einflußgrößen verursachen Kosten in Form von Löhnen, Produktionsausfall (entgangene Deckungsbeiträge) oder Ausschuß. Sicher beruht ein Teil dieser Kosten auf menschlichem Fehlverhalten, ein anderer Teil auf nicht beeinflußbaren technischen oder zufälligen Größen, die für diese Betrachtung nicht relevant sind. Der erstgenannte Teil dagegen kann beeinflußt werden, wenn die Ursachen des menschlichen Verhaltens erkannt werden.

1.2.2.1. Arbeitszufriedenheit

Man kann vermuten, daß die Zufriedenheit mit der Arbeit dazu führt, daß die gestellten Aufgaben sorgfältig erledigt werden und daß andererseits Unzufriedenheit mit der Arbeit Unlust und Nachlässigkeit mit den oben beschriebenen Auswirkungen zur Folge haben. NEUBERGER, O. (1974 - 1) teilt, orientiert an Erklärungsbegriffen, die Definitionen der Arbeitszufriedenheit in vier Kategorien: [1)]

1) Bedürfnisorientierte Konzeptionen, bei denen angenommen wird, daß die Personen bestimmte Bedürfnisse haben, deren Befriedigung angestrebt wird. Die vorhandenen Bedürfnisse zu befriedigen führt zu Zufriedenheit.

2) Anreiztheoretische Konzeptionen, die davon ausgehen, daß die Person dazu tendiert, "Lust" zu vermehren und "Unlust" zu verringern. Ziel ist eine Maximierung von Lustgefühlen.

3) Kognitive Konzeptionen, die das rationale Verhalten in Form der Antizipation künftiger Entwicklungen hervorheben. Wird dabei die Tendenz zu einem "stimmigen" Bild und Verhaltensplan als gestört oder unsicher gesehen, so werden Spannungen aktiviert.

---

1) sinngemäß lt. NEUBERGER, O. (1974 - 1, S. 141)

4) Humanistische Konzeptionen, die das Streben nach Sinnerfüllung und Selbstverwirklichung betonen. Der Sinnbezug des Handelns wird ganzheitlich verstanden.

Arbeitszufriedenheit wird hier als motivationaler Begriff aufgefaßt. [1)]

Sofern die Möglichkeiten dazu gegeben sind, versucht das Individuum sich dem Zustand der Zufriedenheit anzunähern. Wird eine Differenz zwischen angestrebter Zufriedenheit und gegebener Situation, bzw. verfügbaren Mitteln zur Einreichung dieses Zieles festgestellt, so kann Frustration und Streß daraus resultieren. [2)] Die Folgen eines solchen Zustandes sind in einer Reihe von experimentalpsychologischen und physiologischen Untersuchungen erforscht worden. [3)] In den tiefenpsychologischen Schulen wurde eine Reihe von Abwehrmechanismen unter anderem als Reaktion auf Frustration und Streß dargestellt (vgl. Zusammenstellung S. 18).

Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, daß besondere Reaktionsformen wie Konversion, Regression, Fixierung, Resignation und Aggression die Qualität einer Organisationsform wesentlich beeinflussen.

Wenn also mangelnde Arbeitszufriedenheit zu unerwünschten Reaktionen führt, ist es in der Praxis wichtig, Arbeitszufriedenheit erkennen, das heißt messen zu können.[4)]

---

1) Zum Motivationsbegriff vgl. NEUBERGER, O. (1974 - 1) Kapitel 1 und 2

2) NEUBERGER, O. (1974 - 1, S. 64)

3) Eine Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse befindet sich bei NEUBERGER, O. (1974 - 1, S. 66)

4) Der folgende Abschnitt wurde sinngemäß entnommen aus NEUBERGER, O. (1974 - 2, S. 141 ff.)

Tab.: 1

COSTELLO und ZALKIND (1963, S. 148 - 149) zitiert nach NEUBERGER, O. (1974 - 1, S. 68 - 71)

Reaktionsform	Psychologischer Prozeß	Beispiel
1. Kompensation	Die Person verfolgt irgendein Vorhaben mit hohem persönlichen Einsatz, um damit eine erlebte oder tatsächliche Unzulänglichkeit auf einem anderen Gebiet wettzumachen.	Ein Arbeiter, dem Aufstieg in seiner Firma versagt geblieben ist, wird zum engagierten Vorsitzenden eines Fußballclubs.
2. Konversion (»Flucht in die Krankheit«)	Emotionale Spannungen und Konflikte drücken sich in einer Vielzahl von psychosomatischen Symptomen aus (Schmerzen, Kreislaufbeschwerden, Asthma, Hautkrankheiten, Magengeschwür ...).	Einen Tag, nachdem ein von ihm entwickeltes Projekt abgelehnt wurde, fesseln starke Kopfschmerzen den Projektleiter ans Krankenbett.
3. Verschiebung	Umlenkung aufgestauter Emotionen auf Personen, Ideen oder Sachen, die mit der eigentlichen Ursache nicht in direkter Beziehung stehen.	Nachdem ein Meister einen »Anpfiff« von seinem Chef bekommen hat, macht er wegen einer Kleinigkeit einen Mitarbeiter »fertig«.
4. Flucht in die Phantasie	Tagträume oder andere Formen imaginarer Aktivität verhelfen zur Flucht aus der Wirklichkeit und zu erlebter Befriedigung.	Ein wenig geschätzter Arbeiter träumt davon, bei einer Besprechung einen Vorschlag zu machen, der von allen als Rettung aus einer fatalen Situation begrüßt wird.
5. Identifikation	Das Individuum erhöht sein Selbstwertgefühl, indem es sein Verhalten nach dem einer anderen Person ausrichtet, häufig verinnerlicht es auch die Werte und Überzeugungen des anderen. Damit hat es teil an den Erfolgen (oder Rückschlägen) des anderen.	Nicht selten findet man, daß der Assistent oder der Stellvertreter eines Vorgesetzten dessen Sprache, Gesten, Gehabe, Kleidung und Geschmack widerspiegelt.
6. Trotz, Ablehnung (Neinsagen)	Aktiver oder passiver Widerstand, der unbewußt abläuft.	Ein Mitglied, das gegen seinen Willen in einen Ausschuß entsandt wurde, zerpflückt jede Äußerung, die fällt.
7. Projektion	Das Individuum schützt sich selbst vor den eigenen unerwünschten Eigenschaften oder nicht akzeptierten Gefühlen, indem es sie anderen zuschreibt.	Erfolglose Mitarbeiter, die selbst keine Karriere gemacht haben, blockieren den Aufstieg anderer, denen sie vorwerfen, sie würden gegen sie arbeiten.
8. Rationalisierung	Inkonsequente oder unerwünschte Verhaltensweisen, Überzeugungen oder Motive werden »bemäntelt«, indem akzeptable Erklärungen vorgeschoben werden.	Die Spesenabrechnung wird »frisiert«, weil »es jeder so macht« oder: Als Kündigungsgrund wird »geringer Verdienst« angegeben und nicht der eigentliche Grund »Ärger mit dem Vorgesetzten«.
9. Reaktionsbildung	Wünsche, die nicht angenommen werden, werden verdrängt und an ihrer Stelle werden die entgegengesetzten Einstellungen oder Verhaltensweisen mit großem Nachdruck vertreten.	Ein unerwarteterweise nicht beförderter Mitarbeiter verteidigt mit Eifer seinen Chef und ist ein Vorbild für die Befolgung der Firmengrundsätze.
10. Regression	Die Person fällt auf eine frühere, weniger »reife« Verhaltensform zurück.	Eine Führungskraft ist bei irgendeinem wichtigen Vorhaben gescheitert und vergräbt sich nun in Büroarbeit und Kleinkram, der besser von Mitarbeitern ausgeführt wird.

Tab.: 1 (Fortsetzung)

Reaktionsform	Psychologischer Prozeß	Beispiel
11. Verdrängung	Antriebe, Wissen, Erfahrungen und Gefühle werden vollständig aus dem Bewußtsein ausgeschlossen, um Angst- oder Schuldgefühle zu vermeiden.	Ein Mitarbeiter »vergißt« völlig, seinem Chef über eine unangenehme Situation zu berichten.
12. Fixierung	Die Aufrechterhaltung einer bestimmten Reaktion, auch wenn sich wiederholt gezeigt hat, daß sie zu keiner Lösung der Probleme führt.	Eine bestimmte Vorschrift, die sich längst als unsinnig erwiesen hat, wird weiter eingehalten, um es »denen da oben« zu zeigen.
13. Resignation (Apathie, Desinteresse)	Der psychologische Kontakt mit der Umwelt wird abgebrochen und jede emotionale oder persönliche Beteiligung abgebaut.	Ein Mitarbeiter, der nie gelobt oder ermutigt wird, erledigt seine Arbeit achtlos und unbeteiligt.
14. Flucht	Rückzug aus dem Bereich, in dem man Erniedrigung, Frustration, Konflikt etc. erfahren mußte.	Ein bei seinen Kontaktversuchen anfangs gescheiterter Mitarbeiter kapselt sich völlig ab und wird zum Einzelgänger (oder fehlt sehr häufig).
15. Aggression	Eine Person »rächt« sich für eine erlittene oder empfundene Niederlage oder Beeinträchtigung, indem sie andere unterdrückt, beherrscht oder schädigt. Die Aggression kann sich auch verschieben auf Sachen (Zerstörungswut, Sabotage).	Ein Mitarbeiter, der von seinen Kollegen ständig gehänselt und verlacht wird, sieht »rot« und fängt eine Rauferei an oder beschädigt absichtlich eine Maschine.
16. Verleugnung der Wirklichkeit	Ein Individuum verschließt die Augen vor der Realität, um damit Beeinträchtigungen seines Selbstgefühls zu entgehen; für bestimmte Vorkommnisse entwickelt es einen »blinden Fleck«.	Ein Mitarbeiter, der bei Beförderungen ständig übergangen wird, will es nicht wahrhaben, daß seine Fähigkeiten nicht ausreichen, sondern glaubt, daß Alter und »Beziehungen« wichtig sind.
17. Selbstbeschuldigung	Anstatt seine Aggressionen nach außen zu wenden, kehrt sie das Individuum gegen sich selbst: indem es sich vorbeugend selbst bezichtigt und erniedrigt, nimmt es anderen die Möglichkeit, dies zu tun.	Ein Mitarbeiter macht sich selbst schlecht und sichert sich dadurch den Trost und die Hilfe von Vorgesetzten und Kollegen.
18. Überkonformität (»Jasager«)	Dadurch, daß eine Person alle Ansprüche aufs I-Tüpfelchen befolgt, sichert es sich vor Vorwürfen und hat beim Versagen vor sich und anderen eine Rechtfertigung.	Ein Arbeiter, der von seinem Chef wegen einer Unachtsamkeit getadelt worden war, macht nun »Dienst nach Vorschrift«.

COSTELLO und ZALKIND (1963, S. 148 - 149) zitiert nach NIEDERGER, O. (1974 - 1, S. 68 - 71)

Hierzu wird ein geeignetes Meßverfahren benötigt. Wegen der Unklarheit über Definition und theoretische Stellung des Begriffs Arbeitszufriedenheit (vgl. oben S.16) muß versucht werden, das "Verständnis des Begriffs dadurch klarzumachen, daß die Beziehungen dieses Begriffs mit anderen Größen aufgezeigt werden." (NEUBERGER, O., 1974 - 2, S. 141) Dieses Vorgehen wird als Konstruktvalidierung bezeichnet und ist hier als Meßverfahren geeignet, weil allgemein die Arbeitsunzufriedenheit als "hypothetisches Konstrukt zur Erklärung von Verhalten" (NEUBERGER, O., 1974 - 2, S. 142) bezeichnet wird.

1.2.2.1.1. Zusammenhang Arbeitszufriedenheit - Fluktuation

Eine Reaktion auf Frustration oder Streß ist die Flucht aus der verursachenden Situation, die Fluktuation. Die Fluktuationsrate wird durch folgende Beziehung dargestellt: [1)]

$$F = \frac{\text{Summe der Abgänge}}{\text{durchschnittl. Personalbestand}} \cdot 100$$

In einer Reihe von empirischen Untersuchungen (vgl. Zusammenstellung auf S. 21) [2)] wurde die Vermutung bestätigt, daß eine negative Korrelation zwischen Zufriedenheit und Fluktuation besteht. Allerdings werden bei "einem durchschnittlichen Korrelationskoeffizienten von - 0,25 bis - 0,30 durch Unzufriedenheit nur ca. 5 - 10 % der Varianz von Fluktuation erklärt". (NEUBERGER, O., 1974 - 2, S. 144)

Ein Grund für den relativ geringen Zusammenhang zwischen Zufriedenheit und Fluktuation kann die Tatsache sein, daß neben der Zufriedenheit sehr viele andere Faktoren zu einem

---

1) Vgl. NEUBERGER, O. (1974 - 2, S. 148)

2) Vgl. auch BUNZ, A.R., JANSEN, R., SCHACHT, K., (1974, S. 218 ff.)

Empirische Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Zufriedenheit und Fluktuation

Autor(en)	N*	Tdz**	Zusammenhang zwischen Zufriedenheit u. F.
Kerr 1947	53 A	–	sign. negativ (bei Einschätzung der »Moral« durch Gewerkschaftsfunktionäre
Kerr 1948	98	–	r = –.25 bzw. –.36
Giese u. Ruter 1949	25 A	–	r = –.42
Kerr, Koppelmeier und Sullivan	29 A	0	unsignif. negativ (r = –.13)
Wickert 1951		0/–	sign. negativ bei 2 Items, ansonsten unsign.
Van Zelst und Kerr 1953	340	0	unsign. (–.09) bei Selbstaussagen über frühere Fluktuation
Weitz und Nuckols 1953	560	–/0	bei direkter Befragung: –.20 (sign.) bei indirekter Befragung: –.05 (unsign.)
Sagi, Olmstead und Attelsek 1955	293	–	sign. negativ
Weitz und Nuckols 1955	990	0/–	größtenteils unsign., einige Items differenzierten
Fleishman, Harris und Burtt 1955	58 A	–	sign. r = –.21 (Zufr. mit Vorgesetztem)
Webb und Hollander 1956	210	–	sign. negativ (Korrelat. zw. –.30 und –.90 je nach verwendetem Instrument)
Hitt 1956 (zit. in Wherry 1958 p 87–89)	(ohne N) A	+/–	Komplexe Beziehungen je nach Zufriedenheitsaspekt (zw. –.70 und +.31)
Ross und Zander 1957	2680	–/0	In drei von 5 Bedürfnisaspekten sign. Diffzn.
Minor 1958	440	–	r = –.28 (mit Diffz. zw. erwart. u. erhalt. Lohn)
Talacchi 1959 (zit. in Kilbridge 1961)	93 A	0	unsignifikante Beziehung
Lennerlöff (1965)	114	0/–	von 10 r's sind 4 sign.
		0	(um –.25)
	50 A		unsignifikant
Hulin 1966	345	–/0	z. T. sign., z. T. unsign. Beziehungen
Sheppard 1967	430	–/0	sign. Diffz. in 5 von 8 Zufriedh.-Items
Hulin 1968	350	–	r = –.46
Smith-Mikes und Hulin 1968	48	–	r um –.36
Howell et al. 1968	ca. 2000	0	unsignifikante Beziehungen
Ronan 1970	11156	+/–	sehr komplexe Beziehungen (z. T. posit., z. T. neg.)
Wild 1970	236+2159	–	sign. negativ
Lyons 1971	156	–	sign. negativ
Waters und Roach 1971	131	–/0	untersch., einige sign. neg. Korr. (um –.25)
Waters und Roach 1973	80+117	–/0	untersch., einige sign. neg. Korr. (um –.25)
Atchison und Lefferts 1972	122	–/0	neg. bei Fragebogen, unsign. bei Herzberg-Methode
Hellriegel und White 1973	349	–	sign. negativ (bei 41 von insg. 58 Items)

* N(A): N meint die Gesamtzahl der Untersuchten (nicht der Kündiger bzw. Gekündigten); das A bedeutet, daß es sich um Abteilungsdaten handelt (in den anderen Fällen liegen Individualdaten zugrunde).

** Tendenz: Die Richtung und die Signifikanz der evtl. aufgefundenen Unterschiede (– = negativer Zusammenhang, + = positiver Zusammenhang, 0 = kein Zusammenhang).

Tab.: 2 NEUBERGER, O. (1974 - 2, S. 144 - 145)

Betriebswechsel führen. Das sind die hier nicht interessierenden betrieblichen und rechtlichen Bedingungen, wie Rationalisierung, Arbeitsmangel, Erreichen der Altersgrenze oder ähnliche und nicht durch die Organisation beeinflußbare, individuelle Beweggründe (z.B. Ortswechsel des Ehemannes, Heirat, Schwangerschaft, Krankheit usw.).

Als weitere mögliche Erklärung für den niedrigen Zusammenhang zwischen Arbeitswechsel und Zufriedenheit nennt NEUBERGER, O. (1974 - 2, S. 152) methodische Gründe:

1) „Die Arbeitszufriedenheit wurde mit verschiedenen Verfahren gemessen, nicht selten sogar mit nur einem einzigen Item. Wenn die Zuverlässigkeit der Zufriedenheitsmessung gering ist, kann die Korrelation zwischen Zufriedenheit und dem Kriterium nicht hoch sein. ...

2) Bei jenen Studien, die mit Abteilungs-Mittelwerten der Zufriedenheit gearbeitet haben, wird die Voraussetzung gemacht, daß die "Zufriedenheiten" der einzelnen Gruppenmitglieder nur eine geringe Streuung um den "eigentlichen" Wert der Gruppe haben. Es hat sich aber gezeigt, daß die Intraklassen-Korrelation der Zufriedenheitswerte sehr niedrig ist: Zufriedenheit ist nicht ein spezifischer Wert der Gruppe, sondern des Individuums.

3) In diesem Zusammenhang ist auch die Anlage einiger Studien zu kritisieren: Es wird etwa die Fluktuationsrate (F) einer Abteilung ermittelt. Danach wird die Zufriedenheit der Abteilungsmitglieder (ZA) gemessen und die Korrelation zwischen F und ZA errechnet. In der Zufriedenheitsmessung werden aber jene Mitglieder, die ausgeschieden sind, nicht mehr erfaßt, so daß eigentlich nur die "Zurückgebliebenen" gemessen werden - die vielleicht zufrie-

dener sind als die Ausgeschiedenen. Wenn "Fluktuation" also kein abteilungsspezifischer Sachverhalt ist (bestimmte Bedingungen in der Abteilung "erzeugen" unausweichlich Fluktuation), sondern auf individuelle Gründe oder auf Wechselbeziehungen zwischen Individuum und Situation zurückzuführen ist, dann kann der nach der obigen Methode gemessene Zusammenhang zwischen Zufriedenheit und Fluktuation nicht hoch sein.

4) Besser in der Anlage sind sogenannte "follow-up"-Studien, bei denen zu einem bestimmten Zeitpunkt die Zufriedenheit aller Abteilungsmitglieder gemessen wird und dann nach einiger Zeit (6 oder 12 Monate) überprüft wird, welche Mitglieder inzwischen ausgeschieden sind. Es läßt sich dann die vorher gemessene Zufriedenheit der Ausgeschiedenen mit derjenigen der Gebliebenen vergleichen und auf diese Weise ermitteln, ob signifikante Unterschiede zum Zeitpunkt der Zufriedenheitsmessung bestanden haben, ob sich also Fluktuation schon frühzeitig angekündigt hat. Allerdings weiß man nicht, wieviel Zeit verstreicht zwischen "erlebter Unzufriedenheit" und Kündigung. Hier dürfte eine große Zahl individueller und situativer Momente eine Rolle spielen (z.B.: Neigung, sich abzusichern oder Entscheidungen hinauszuzögern, Vorliegen guter anderer Angebote, Lage auf dem Arbeitsmarkt). So ist es durchaus möglich, daß einer, der vor 6 Monaten noch insgesamt sehr zufrieden war, 3 Monate später benachteiligt wurde oder attraktive Angebote bekam und sich deshalb von der Unternehmung trennte.

Wenn man - wie z.B. der Organisationstheoretiker Likert (1961) - die regelmäßige Messung der Zufriedenheit als einer "intervenierenden Variablen" (die künftiges Verhalten anzeigt) fordert, so geht man von der Annahme aus,

daß die durchschnittliche Abteilungszufriedenheit wesentlich von solchen spezifischen Abteilungsmerkmalen abhängt, die für alle relevant sind. Individuelle Anspruchsniveaus und Bezugssysteme hätten demgegenüber nur eine nachgeordnete Bedeutung. Der Schluß auf situationsimmanente Ursachen wird erhärtet, wenn die Fluktuationsraten in aufeinanderfolgenden Perioden hoch miteinander korrelieren." (NEUBERGER, O., 1974 - 2, S. 152 f.)

Man kann also davon ausgehen, daß Unzufriedenheit einen Teil der Fluktuation begründet, wenn auch oft die Unzufriedenheit nur einer von verschiedenen Beweggründen ist, die in der Summe die Entscheidung bewirken.

1.2.2.1.2. Zusammenhang Arbeitszufriedenheit - Absentismus

Als weitere Reaktion auf Frustration oder Streß kommen Fehlzeiten in Frage.

$$FZ = \frac{\text{Summe der Abwesenheitszeiten}}{\text{mögliche Abwesenheitszeit}} \cdot 100$$

Fehlzeiten (FZ) seien als prozentualer Anteil der möglichen Anwesenheitszeit in einer gegebenen Periode definiert.

Wie bei der Fluktuation hängt auch nur ein Teil der Fehlzeiten mit der Arbeitszufriedenheit zusammen.
NEUBERGER, O. (1974 - 2, S. 155) nennt folgende Gründe:

"- Fehlzeiten sind auch auf andere Gründe zurückzuführen (z.B. Verkehrsunfall, ... Infektionskrankheiten, Sonderurlaub aus dringenden privaten Gründen ...)

- Fehlzeiten sind nur eine mögliche Antwort auf Frustrationen (neben Sabotage, Aggression, Regression etc.)"

In einer Reihe von empirischen Untersuchungen (vgl. Zusammenstellung S. 25) wurde bestätigt, daß ein Zusammenhang besteht, jedoch nicht allzu hoch ist. Der Korrelationskoeffi-

Empirische Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Fehlzeiten und Zufriedenheit

Autor(en)	N	Richt. u. Sign. d. Zushgs	Kommentar
Giese und Ruter 1949	25 A	–	Korrel. von –.47 zwischen Z. und »% Abwesende«
Kerr, Koppelmeier und Sullivan 1951	29 A	+ 0 –	Korrel. .51 von Z. mit »Gesamt-Abwesenheit« u. –.44 mit »Unentschuld. Abwesh.«
Metzner und Mann 1953		–	Signif. Differenz zw. Zufr. u Unzufr. bei Häufigk. der Abwesenh.
Van Zelst und Kerr 1953	340	–	r = –.31
Bernberg 1952	890	0	r zw. .00 und .06
Fleishman, Harris und Burtt 1955	58 A	–	r = –.25
Hitt 1956 (zit. in Wherry 1958, S. 87 f.)	? A	+ –	z. T. posit. Korrel. bis .36, z. T. negative bis –.78 je nach Aspekt der Zufriedenheit
Patchen 1960	487	– 0	Sign. Diffz. bei Zufr. mit Beförderg. u. Bezahlung (Krit.: Fehlzeiten-Häufigk.)
Harding und Bottenberg 1961	376	–	r = –.20
Talacchi 1959 (zit. in Kilbridge 1961)	93 A	–	signif. Differenzen
Vroom	489	0	r = –.05
Mann, Indik und Vroom 1963	28 A	0	r = –.14 Kraftfahrer
dies.	24 A	–	r = –.32 »Positioners«
Lennerlöf 1965	114	0/–	Mit 6 versch. Absentismus-Maßen ergaben sich bei 10 Zufr.-Items bei 60 Koeffiz. insg. 8 signif. Korrelationen (um –.26)
ders.	50 A	0/–	Von 30 Koeffiz. waren 3 signif. (um –.37)
Cooper und Payne 1967	113	+	r zw. Abwesenheit u. Vorgesetzten-Rating der »Arb. Anpassung« .28 bzw. .34
Ronan 1970	11156	+/–	Sehr komplexe Beziehungen, z. T. sign. pos., z. T. signif. negativ
Waters und Roach 1971		–	r bei Gesamtzufr. = –.23, bei 2 Subskalen des JDI um –.23
Schmidt-Brasse und Neuberger 1973	255	0	bei 6 Absentismusmaßen kein sign. Zusammhg.

Tab.: 3 NEUBERGER, O. (1974 - 2, S. 156 - 157)

zient liegt im Durchschnitt bei - 0,25.

Auch BUNZ, A.R., JANSEN, R. und SCHACHT, K. (1974) stellten einen Zusammenhang zwischen Fehlzeiten und Unzufriedenheit fest. Sie erkannten, daß "die Unzufriedenheit mit dem Arbeitsinhalt und dem Ansehen der Arbeit 1,1 % der Gesamtvarianz erklärt ... und damit von allen anderen Variablen den relativ größten Einfluß auf den Absentismus hat und dieser Einfluß unter den gesetzten Bedingungen auch signifikant ist." (BUNZ, A.R., JANSEN, R., SCHACHT, K., 1974, S. 214).

1.2.2.1.3. Zusammenhang Arbeitszufriedenheit - Leistung

Wenn Fluktuation und Fehlzeiten mit der Arbeitszufriedenheit korrelieren, liegt es nahe, auch einen Zusammenhang zwischen Arbeitsleistung und Zufriedenheit zu vermuten. Zur Definition von Leistung ist eine Konzentration auf die Mengenleistung allein sicher nicht ausreichend, da auch die Einhaltung von Qualitätsnormen und der Umgang mit Material, Werkzeugen und Maschinen Komponenten der "Leistung" sind. Hier soll für Montageprozesse folgende Definition gelten.

Als Arbeitsleistung bezeichnet man:

- Mengenleistung, d.h. die durch den Leistungsgrad (L)

$$L = \frac{\text{vorgegebene Zeit pro Einheit}}{\text{benötigte Zeit pro Einheit}} \cdot 100$$

  gegebene Ausbringungsmenge

- Fehlerquote, d.h. der Anteil an der Gesamtausbringung der infolge von Montagefehlern unbrauchbar ist (Ausschuß) oder nachbearbeitet werden muß, und

- Materialbehandlung, d.h. ein schonender Umgang mit Maschinen und Werkzeugen und die sparsame Verwendung von Materialien. wird als Arbeitsleistung bezeichnet.

In einer Reihe von empirischen Untersuchungen (vgl. Zusammenstellung S. 28) wurde, entgegen der oben geäußerten Vermutung, im Durchschnitt kein signifikanter Zusammenhang zwischen Zufriedenheit und Leistung festgestellt. Allerdings beziehen sich nur wenige der Untersuchungen auf die Berufsgruppe der Arbeiter. Die hierfür dargestellten Ergebnisse (CARLSON, R.E. (1969) und BRODY, M. (1945)) zeigen die hohe Korrelation von

$$r = 0{,}63 \quad \text{bzw.} \quad r = 0{,}68.$$

Bei verschiedenen praktischen Experimenten, deren Ziel eine Erklärung der Arbeitszufriedenheit war, wurden ebenfalls Leistungsverbesserungen erzielt, z.B.:

- Philips: Ausstoßerhöhung um 2 % und Qualitätsverbesserungen (RÜHL, G., 1973, S. 189)
- Volvo: Qualitätsverbesserungen (RÜHL, G., 1973, S. 193)
- Siemens: Qualitätsverbesserungen (SCHLITZBERGER, H.H., 1975, S. 52)
- nicht genanntes Unternehmen der Elektroindustrie: Kapazitätserhöhung 10 - 20 % (MEYER, H.O., 1975, S. 60)

Auch wenn in einigen Fällen die Qualitätsverbesserungen nicht vollständig auf Maßnahmen zur Erhöhung der Arbeitszufriedenheit basieren, weil der Einfluß von Konjunktur- oder Verfahrensänderungen nicht isoliert werden kann, so ist doch immer eine Wirkung festzustellen.

Da die Untersuchungen, wie von NEUBERGER, O. (1974 - 2, S. 171 ff.) dargestellt, auf verschiedenen Annahmen beruhen, verschiedene Begriffe verwenden und wichtige Interdependenzen, wie z.B. die Abhängigkeit des Einzelnen von anderen Personen oder Maschinen, vernachlässigen, kann man sich mit der Angabe von Korrelationskoeffizienten nicht zufrieden geben.

Der Zusammenhang zwischen Arbeitszufriedenheit und Leistung

Autor(en)	Art d. Anal.	Population	Korrelation	Art d. Krit.	N
Weschler et al. 1952	A[a]	2 Abt. eines Forsch.-Lab.	unsign. in Abt. A sign. posit. in B	R[c]	A=28 B=38
Katzell et al. 1961	A	Kaufhäuser	mit Quant.: .21 mit Qualt.: –.02 mit Rentab.: .28	O	72 Abteilgn.
Kirchner 1965	I	Verkäufer	mit Rentab.: .28 .42 (**[b]) und .46** je nach Kriterium	O	72
Carlson 1969	I	Arbeiter	bei hoher Zufr.: .56** bei mittl. u. nied. Zufr. kein sign. Zushg.	R	254
ders.	I	Angestellte	bei hoher Zufr.: .53* bei m.ttl. u. niedr. Zufr. kein sign. Zushg.	R	252
Carlson et al. 1969	I	Techn. Mont. Frauen und Männer	bei hoher Zufr.: .63** bei mittl. u. niedr. Zufr. kein sign. Zushg.	O R	183 Fr. 169 Männ.
Ronan 1970	I	Vorgesetzte, Fach-u.angel. Arb.	Faktorenanalysen zeigten für die versch. Gruppen versch. Faktoren	O	über 11000
Wofford 1971	I	Ang. u. Arb. in 4 Firmen	in zwei Firmen pos. Bez., in einer negat., in einer kein Zshg.	R	197 insg.
Doll et al. 1969	I	Soldaten	.04	R	129
		Wissensch.	.33**	R	66
Slocum 1971		Vorarbeiter	.26** (mit Gesamtzufr.)	R	87
		Ingenieure	.26** (mit Gesamtzufr.)	R	123
		Manager	je nach Zufr. u. Leistungskrit. zw. –.15	R	175
Landy 1971	I				
Nathanson et al.	I	Ärzte	zw. –.33 bis .84* je n. Krit.aspekt	R	57

a) A = Abteilungsdaten, I = Individualdaten
b) * beim Korrelationskoeffiz. = signifikant (p < .05)
b) ** beim Korrelationskoeffiz. = sehr signif. (p < .01)
c) R = Ratingsdaten, O = Objektive Daten

Der Zusammenhang zwischen Arbeitszufriedenheit und Leistung

Autor(en)	Art der Analyse	Population	Korrelation	Art des Kriteriums	N
Baxter* 1953	Indiv.	Versicherungsagenten	.23	Ratings	233
			.26	Objekt. Dat.	
Bellows* 1953	Indiv.	Fluglotsen	.025	Ratings	109
Bernberg 1952	Indiv.	Arbeiter (Std lohn)	.05	Ratings	890
Brayfield* 1944	Indiv.	Weibl. Büroangest.	.14		231
Brayfield und Mangelsdorf* 1950	Indiv.	Klempnerlehrlinge	.203	Ratings	55
Brayfield und Marsh* 1953	Indiv.	Farmer	.115	Ratings	50
Brody* 1945	Indiv.	Arbeiter (Stückl.)	.68	Objekt. Dat.	40
Fleishmann, Harris und Burtt 1955	Gruppe	Industrie Arb.grupp.	–.31	Ratings	58
Gadel und Kriedt 1952	Indiv.	EDV-Angestellte	.08	Ratings	193
Giese und Ruter 1949	Gruppe	Versandhaus-Filial.	.19	Objekt. Dat.	25
Hamid ud-Din 1953	Indiv.	Versichg.Agenten	.22	Objekt. Dat.	552
Heron 1954	Indiv.	Busfahrer	.308	Objekt. Dat.	144
Lawshe und Nagle 1953	Gruppe	Abtlg. in Behörde	.86	Ratings	14
Lopez 1962	Indiv.	Techn. Verwalt. Pers.	.12	Ratings	124
Mann, Indik und Vroom 1963	Gruppe	Lastwagenfahrer	.14	Ratings	28
	Gruppe	Große Arb.Gruppen	.21	Objekt. Dat.	
diesselb.	Gruppe	»Positioners«	.18	Ratings	24
		Kleine Arb.Gruppen	.02	Objekt. Dat.	
Mossin* 1949	Indiv.	Weibl. Verkäufer.	–.03	Ratings	94
Sirota 1958	Indiv.	Angest. in Elektrofirma	.11	Ratings	377
ders.	Indiv.	Vorgesetzte in Elektrofirma	.13	Ratings	145
Vroom 1960	Indiv.	Vorgesetzte in Speditionsfirma	.21	Ratings	96

Die Tabelle ist aus Vroom 1964, S. 184–185 übernommen und z. T. ergänzt.

* Diese Studien werden in dem Sammelreferat von Brayfield und Crockett (1955, S. 398–401) besprochen.

Man untersucht "theoretische Modelle...", die die beiden Variablen "(Zufriedenheit und Leistung)" miteinander in Beziehung setzen. Dazu sind Aussagensysteme nötig, die überprüfbare Annahmen über die Abhängigkeit der beiden Größen voneinander oder von dritten Bedingungen machen. (NEUBERGER, O., 1974 - 2)

Modelle dieser Art wurden von

- March und Simon
- Locke
- Herzberg
- Vroom
- Porter und Lawler
- Smith und Cranny
- Dawis, England und Lofquist
- Triandis und
- Kormann

entwickelt und von NEUBERGER, O. (1974 - 2, S. 179 - 193) vorgestellt. Ein direkter Zusammenhang zwischen Zufriedenheit und Leistung kann auch hier nicht nachgewiesen werden. NEUBERGER, O. (1974 - 2, S. 194) kommt so zu dem Ergebnis, daß "Leistung und Zufriedenheit zwei Aspekte sind, die neben anderen (z.B. Loyalität oder Solidarität) zu Zielgrößen organisatorischen Handelns gemacht werden können." Es sollte "... erforscht werden, wovon beide abhängen...", um "... die Grundlage für eine gezielte Beeinflussungsmöglichkeit..." zu schaffen.

Sehr hohe Fluktuationsraten und Fehlzeiten in den Produktionsbereichen westlicher Industrieländer, sich häufende Aggressionen [1] (z.B. General Motors [2]) und Fehler deuten auf weitverbreitete Unzufriedenheit mit der Arbeit hin.

---

1) WALTERS, R.W. (1972, S. 15)

2) MICHAELS, H. (1972, S. 8)

1.2.2.2. Ursachen der Arbeitsunzufriedenheit

So gibt z.B. Saab für 1968/69 an den Fließbändern 100 % Fluktuation an. Im gesamten Unternehmen liegt die Fluktuation bei 50 %, die Fehlzeiten bei 14 %. Volvo nennt für 1969 in der Lkw- bzw. in der Pkw-Produktion 50 bzw. 40 % Fluktuation und erreicht insgesamt einen Fehlzeitprozentsatz von ca. 25 %. (Zahlenmaterial lt. RÜHL, G. (1973, S. 193 und 195))

Obwohl nicht auszuschließen ist, daß ein Teil der extremen Werte für Fluktuation und Fehlzeiten im Einzelfall mit außerorganisatorischen Gesichtspunkten, wie Standort oder Qualität des Management zu erklären ist, so ist doch eine gewisse Allgemeingültigkeit nicht zu leugnen, da in allen industrialisierten Teilen der Welt diese Erscheinungen zu beobachten sind.

Auf der Suche nach den Ursachen wurde die Frage gestellt, ob an den Fließbändern eine ständig weitergehende Unterteilung der Arbeiten und die Abhängigkeit der Arbeitskräfte voneinander, bzw. von Maschinen, die Ursache für mangelnde Arbeitszufriedenheit mit den beschriebenen Folgen sind, oder wie sonst die beobachteten Verhaltensweisen erklärt werden können.

1.2.2.3. Motivationstheorien zur Erklärung von Arbeitsunzufriedenheit

Um diese Erklärungen geben zu können, wurde eine Reihe von Motivationstheorien entwickelt. In, auf diesen Erklärungsmodellen basierenden, empirischen Untersuchungen konnten verschiedene Empfehlungen für die Arbeitsgestaltung erarbeitet werden. [1)]

Besondere Beachtung fand die Zwei-Faktoren-Theorie HERZBERGS[2)]. Wird diese Theorie noch von RÜHL, G. (1973, S. 157) als "gesicherte arbeitswissenschaftliche Erkenntnis" angesehen, so

---

1) Einen Überblick über Motivationstheorien gibt: HORNEY, H.-L. (1976, S. 21 ff u. NEUBERGER, O. (1974 - 1, S. 58 ff)

2) HERZBERG, F., MAUSNER, B. und SNYDERMAN, B. (1959), HERZBERG, F. (1968)

mehrt sich nach genaueren industriesoziologischen Untersuchungen die Kritik an dieser Methode. [1] HORNEY, H.-L. (1976, S. 29) faßt die sachlich begründete Kritik in vier Punkte zusammen:

"a) Ein einzelner Faktor kann bei einer Person Arbeitszufriedenheit und bei einer anderen Unzufriedenheit hervorrufen oder auch neutral sein. Die Ursachen hierfür liegen z.B. in Alter, Geschlecht, Bildungsgrad, Stellung in der beruflichen Hierarchie, Rolle und Einfluß als Mitarbeiter in einer Gruppe u.a.m..

b) Die möglichen Kombinationen der Unterfaktoren und ihre Auswirkungen sind vernachlässigt; so werden sich manche Unterfaktoren verstärken oder u.U. gegenseitig aufheben können.

c) Im einzelnen Mitarbeiter liegende (individuell bestimmte) Einflüsse sind übersehen worden, obwohl sie für zufrieden bzw. unzufrieden machende Faktoren eine große Bedeutung haben.

d) Die Zwei-Faktoren-Theorie ist eine allzu starke Vereinfachung der Beziehungen zwischen Motivation und Zufriedenheit und der Ursachen von Zufriedenheit und Unzufriedenheit bei der Arbeit."

Ein wichtiger Versuch, die Zwei-Faktoren-Theorie HERZBERGS, auch unter Berücksichtigung der Kritikpunkte, für Untersuchungen in der BRD zu nutzen, wurde von ZINK, K. (1975 - 2) [2]

---

1) NEUBERGER, O. (1974 - 1, S. 126 ff). HORNEY, H.-L. (1976, S. 29). EULER, H.P. (1976, S. 43 ff.)

2) zitiert nach HORNEY, H.-L. (1976, S. 31)

unternommen. Nach "Ausdehnung auf Angehörige verschiedener Tätigkeitsniveaus und auf situative und personbezogene Einflußgrößen", nach Vermeidung des "direkten Schlusses von Auftretenshäufigkeit und Bedeutung durch Gewichtung der Einflußgrößen" und durch "Unterteilung nach Zielgruppen, wie Angelernte, Facharbeiter, Angestellte, Mitarbeiter und dispositiven bzw. kreativen Tätigkeiten und Nur-Vorgesetzte" kommt ZINK unter anderem zu den Folgerungen: [1)]

- Bezahlung und soziale Kontakte sind besonders für Angelernte in der Fertigung wichtig, dafür treten bei ihnen Selbstbestätigung und Verantwortung zurück

- "gute Arbeit" wird bei uns bestimmt durch:

  - abwechslungsreiche und interessante Aufgaben
  - Möglichkeit zu erfolgreichen Lösungen von Aufgaben
  - selbständige Arbeit mit Verantwortung für diese Tätigkeit
  - Anerkennung und Belohnung einer Leistung
  - objektive Anzeichen für eine Weiterentwicklung der eigenen Fähigkeiten und Fertigkeiten
  - positive soziale Kontakte (Integration in einer Gruppe)

- "Unzufriedenheit" hat folgende Ursachen:

  - Unternehmenspolitik
  - Beziehung zu Vorgesetzten
  - Führungsstil
  - Bezahlung

---

1) zitiert nach HORNEY, H.-L. (1976, S. 32, 33)

- Arbeitsbedingungen - vor allem, wenn dazu negative Erlebnisse im Zusammenhang mit Aufgabe und Anerkennung treten.

- Begründungen wie "eintönige Routinearbeit", "Arbeit zu einfach", "Arbeit zu schwierig", weisen auf arbeitsorganisatorische Mängel hin und sind so direkter Anlaß für fehlende positive Motivation.

In seiner Kritik an der Zwei-Faktoren-Theorie HERZBERGS stellt EULER, H.-P. (1976, S. 55) fest, daß sich "Arbeitsplätze mit relativ freien Verhaltensspielräumen (z.B. autonome Einzelarbeitsplätze) im Durchschnitt durch ein geringeres Arbeitsunzufriedenheitspotential ihrer Inhaber auszeichnen, während Arbeitssituationen mit wenigen und engen Verhaltensspielräumen (z.B. Fließbandarbeitsplätze) durchweg die unzufriedeneren Arbeitskräfte stellen und Leistungsrestriktionen erkennen lassen."

Während HERZBERG mit seiner Forderung nach job-enrichment als Mittel zur Selbstverwirklichung "lediglich die Überführung einer strukturierten Zwangssituation in eine inhaltlich anders strukturierte Zwangssituation" (EULER, H.P. 1976, S. 56) erreicht, argumentiert EULER, H.P. (1976, S. 56), "daß auch ohne die Annahme eines theoretisch umstrittenen und empirisch nicht nachweisbaren generellen Bedürfniskonzeptes Aussagen über die Gestaltung und Organisation von Arbeitsstrukturen abgeleitet werden können."

Für eine positive Einstellung zur Arbeit ist somit "die Möglichkeit der Regelung und Selbstbestimmung der persönlichen Lebensbedingungen, zu denen auch der Arbeitsinhalt als eine der "Umweltbedingungen" des arbeitenden Menschen gehört" ausschlaggebend. Aussagen über die exakte Bedeutung des Arbeitsinhalts könnten erst durch "spezifische Untersuchungen" (EULER, H.P. 1976, S. 56) gemacht werden.

Da, wie am Beispiel der Zwei-Faktoren-Theorie gezeigt wurde, aus den Motivationstheorien noch keine gesicherten Schlüsse über die Ursachen von Arbeitszufriedenheit bzw. Unzufriedenheit gezogen werden können, andererseits aber die Symptome für vorhandene Unzufriedenheit festgestellt werden, muß heute ohne geschlossenes Motivationsmodell versucht werden, eine verbesserte Arbeitsorganisation aufzubauen. Die Praktiker in vielen Unternehmen nahmen festgestellte Verhaltensweisen der Mitarbeiter und technische "Schwächen" heutiger Organisationsstrukturen zum Anlaß, neue Konzepte zu verwirklichen. Die vorgenommenen Änderungen beruhen auf vermuteten Zusammenhängen zwischen Organisation und menschlichem Verhalten und auf erkannten technisch wirtschaftlichen Interdependenzen von Organisation, Arbeitszufriedenheit und Betriebserfolg.

Im einzelnen wurden folgende Gründe für Maßnahmen zur Arbeitsstrukturierung im Montagebereich angegeben:

1.) Unzufriedenheit mit der Arbeit

- Nach einer unveröffentlichten Studie des Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung der Fraunhofer-Gesellschaft an der Universität Stuttgart (1974) [1] kam es zu einem Absinken des Anteils deutscher Arbeitnehmer in den Industriebetrieben industrieller Ballungsräume (vgl. Abb. 4).
  Man glaubt, daß das vorhandene Arbeitsangebot nicht mehr mit den "Erwartungen potentieller Mitarbeiter an die Arbeit" übereinstimmt und nennt als Gründe den gehobenen Lebensstandard und eine gehobenere Schulbildung.

---

1) zitiert nach HEINER, P., MANN, W.E., MUTZ, N. (1975, S. 47, 48)

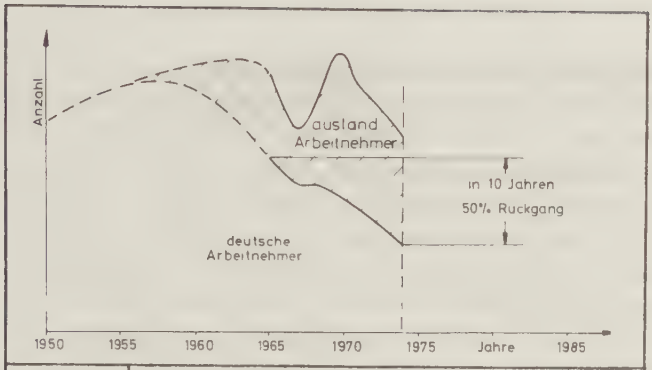


Abb. 4 Zahl der ausländischen Arbeitnehmer

- Hektik, hoher Krankenstand und hohe Fluktuation als Folge der starken Abhängigkeit von der Leistung des Nachbarn (LINDNER, E. 1975, S. 40)
- Auseinandersetzungen zwischen Mitarbeitern (LINDNER, E. 1975, S. 46)
- Hohe Ausfallzeiten wegen personeller Ausfälle (ca. 51 % aller Ausfallzeiten, WEIL, R. 1974 - 4, S. 38). Als Gründe werden verspätete Arbeitsaufnahme (WEIL, 1974 - 3, S. 38) und das Fehlen von Puffern (WEIL, R., 1974 - 2, S. 26) genannt.
- Das ungenutzte Motivationspotential (WEIL, R. 1974 - 6, S. 11)
- Aktuelle Probleme,wie Mangel an Arbeitskräften, hohe Abwesenheitsquoten und hohe Fluktuation (WEIL, R. 1974 - 6, S. 11)
- Strukturänderungen, bezogen auf das künftig verfügbare Arbeitskräftepotential, den höheren und weiter steigenden Ausbildungsstand, das System sozialer Leistungen und der Wohlfahrtsstaat. (WEIL, R. 1974 - 6, S. 11)

2.) Technisch-wirtschaftliche Einflußgrößen

- Abstimmungsschwächen, die zu Gerätestau und Unzufriedenheit mit der Entlohung (wegen unterschiedlicher individueller Leistungen) (WEIL, R. 1974 - 3, S. 39) und zu einer geringen Auslastung der Bänder (WEIL, R. 1974 - 2, S. 26) führen (vgl. auch MEYER, H.O. 1975, S. 56)
- Mangelnde Flexibilität der Bewältigung von Typenvielfalt und Kleinserien von 4000 - 6000 Stck. (WEIL, R. 1974 - 2, S. 26) und bei notwendigen Anpassungen des Kapazitätsbedarfs an saisonale Schwankungen (MEYER, H.O. 1975, S. 56)
- Unproduktive Hol- und Bringzeiten, die bis zu 5 % der Taktzeit ausmachen (MEYER, H.O. 1975, S. 56)
- Die körperliche Beanspruchung durch das Gewicht der Geräte (MEYER, H.O. 1975, S. 56)

Auch wenn im Einzelfall die Bedeutung der beschriebenen Einflußfaktoren nicht mit letzter Klarheit erkannt werden kann, so wird doch deutlich, daß die bisher vernachlässigten qualitativen Elemente wesentliche Bedeutung für die Güte einer Montageorganisation haben.

Einige Maßnahmen, die zur Berücksichtigung qualitativer Größen vorgeschlagen werden, sind als "Sammelbegriffe" bekannt.

Job enlargement (Arbeitserweiterung) beschreibt die Ausweitung der individuellen Aufgaben auf mehr gleichartige Arbeiten (z.B. Verlängerung der Taktzeit, wenn die Montage eines Produktes auf weniger Arbeitsplätzen zusammengefaßt wird).

Job enrichment (Arbeitsbereicherung) werden jene Maßnahmen genannt, durch die "strukturell verschiedenartige Arbeitselemente - z.B. Planungs-, Fertigungs- und Kontrollaufgaben -

in einer größeren Handlungseinheit zusammengefügt werden" (ULICH, E., GROSKURTH, P. und BRUGGEMANN, A., 1973, S. 68/69).

Job rotation (Arbeitswechsel) ist ein "planmäßiger Wechsel von Arbeitsplätzen und Arbeitsaufgaben, um einseitige Belastung und Monotonie zu verringern und um für einen Arbeitsplatz mehrere geübte Arbeitspersonen zur Verfügung zu haben" (REFA, Teil 3, 1971, S. 137). Reihenfolge und zeitlicher Abstand der Platzwechsel kann vorgeschrieben werden oder selbstgewählt sein.

2. Lösungsvorschläge

2.1. Traditionelle Ansätze

Auf der Basis rein quantitativer Daten wurden Modelle zur Optimierung von Montageprozessen entwickelt, die

- eine Wahl der Organisation als Fließfertigung oder Werkstattfertigung zulassen,
- von bestehenden Fließbändern ausgehen und versuchen, Abstimmungsverluste zu minimieren oder für eine gegebene Zahl von Stationen eine günstige Taktzeit ermitteln
- die optimale Arbeitsteilung bestimmen
- die Optimierung von Pufferlagern vorsehen
- Springerstrategien festlegen
- die Zahl von Paralleleinrichtungen in Abhängigkeit von der Taktzeit festlegen und
- aus den Organisationsmöglichkeiten Komplettmontage und Fließband, (auch unter Berücksichtigung von Paralleleinrichtungen) eine Auswahl ermöglichen.

Da für Montageprozesse eine Werkstattfertigung kaum sinnvoll ist, wird die Darstellung von Organisationsvorschlägen auf die Wahl zwischen Fließfertigung und Komplettmontage, mit Behandlung spezifischer Probleme der Fließbandfertigung beschränkt.[1)]

Das Hauptproblem einer wirtschaftlichen Fließfertigung ist bei festgelegter Anordnung eine Minimierung der Abstimmungsverluste, das heißt der Zeiten, die nach Zuordnung aller Arbeitselemente zu den Stationen als Differenz zwischen Taktzeit und tatsächlicher Arbeitszeit auftreten. Zur Lösung dieses Problems existieren Modelle

---

1) Zur Behandlung der Werkstattfertigung siehe HOSS, K. (1965)

- der linearen Programmierung [1)]
- der dynamischen Optimierung [2)]
- der Netzplantechnik und [3)]
- heuristische Verfahren. [4)]

Allein die heuristischen Verfahren konnten wegen des relativ geringen Rechenzeitbedarfs Eingang in die Praxis finden. [5)]

Ein Modell, das die kostenminimale Teilung der Arbeit, also die Bestimmung optimaler Taktzeiten untersucht, stammt von KILBRIDGE, M.D. und WESTER, L. (1961 - 1). Die Autoren kommen bei Untersuchung der Kosten für Unausgeglichenheit (= Abstimmungsverluste), unproduktive Zeiten (z.B. für Tätigkeiten wie Greifen, Bringen, Positionieren), Anlernvorgänge und Löhne zu einer wirtschaftlichen Untergrenze der Arbeitsteilung. Dieser Ansatz ist jedoch für eine praktische Auswahlentscheidung ungenügend, da der Einfluß auf Investitionen (es könnten Paralleleinrichtungen notwendig werden) Raumkosten oder Ausbringungsmenge nicht berücksichtigt wird.

Ein weiterer Ansatz, die kostenoptimale Arbeitsteilung zu ermitteln, wurde von HACKSTEIN, R. und MATTHEE, R. (1974) veröffentlicht. Es wird versucht, alle zur Ermittlung der gesamten Fertigungskosten relevanten Daten, wie Produktionsprogramm Herstellverfahren, Betriebsmittel, Kapazitätsnutzung usw. in das Entscheidungsmodell einzubeziehen.

---

1) BOWMAN, E.H. (1960), HAHN, R., LUTZ, L. und ROSCHMANN, K. (1968, S. 89 - 92), SALVESON, M.E. (1955)

2) HAHN, R.; LUTZ, L. und ROSCHMANN, K. (1968, S. 92 - 93), BUSSMANN, K.F. und MERTENS, P. (1968, S. 333 - 345), JACKSON, J.R. (1956)

3) BUSSMANN, K.F. und MERTENS, P. (1968, S. 345 - 348), HAHN, R.; LUTZ, L. und ROSCHMANN, K. (1968, S. 93 - 94)

4) BUSSMANN, K.F. und MERTENS, P. (1968, S. 94 - 97), HOFFMANN, T.R. (1963), KILBRIDGE, M.D. und WESTER, L. (1961 - 2), TONGE, F.M. (1964/65), HELGESON, W.P. und BIRNIE, D.P. (1961), HAHN, R. (1972, S. 32 - 51)

5) Zu praktischen Anwendungen eines erweiterten Verfahrens nach HELGESON, W.P. und BIRNIE, D.P. (1961) vgl. HARDECK, W. und SCHÖNFELDER, G. (1973)

ELDAKKAK, J. und RÜMMLER, G. (1970) geben ein Verfahren zur Bestimmung der optimalen Zahl von Parallelfließreihen durch Optimierung der "operativen Taktzeit" an. Zielkriterium ist die Minimierung unproduktiver Zeiten, also lediglich einer von vielen Komponenten, die wirtschaftliche Montagesysteme ausmachen.

Ebenfalls ohne explizite Verwendung wirtschaftlicher Größen ist das Modell von WOITHE, G. und SCHMIGALLA, H. (1967) aufgebaut. Es ermöglicht eine Wahl aus verschiedenen typisierten Anordnungen der stationären Montage und der Gleitmontage. Da auch hier die Entscheidung nur aufgrund technischer Kriterien getroffen wird, ist die Anwendung dieses Verfahrens in der Praxis nicht sinnvoll.

Ein Verfahren, das alle relevanten Kostenarten und vorhandene Unsicherheiten bzgl. einiger Einflußgrößen berücksichtigt, stellen NESTLER, H. und PAPTISTELLA, R. (1974) vor. Die Auswahl der Montageformen wird allerdings auf Komplett- und Linienmontage (bis mindestens 4 Stationen) beschränkt und die Abhängigkeit der Stationen voneinander bleibt unbeachtet.

Trotz verschiedener Unzulänglichkeiten der beschriebenen Modelle im einzelnen können Elemente daraus, in Verbindung mit weiteren Größen (vgl. Abschnitt 3.2.2.2), zu einem Entscheidungsmodell zur Auswahl von Montageformen führen.

2.2. Strukturierte Systeme

In der Praxis wurde eine Reihe von Lösungen verwirklicht, bei denen versucht wird, durch organisatorische Maßnahmen die Arbeitszufriedenheit zu erhöhen und so eine Verringerung von Fluktuationsraten, Abwesenheitsquoten und Fehlerzahlen zu erreichen.

Die Betriebe erwarten,daß eine größere Unabhängigkeit des Einzelnen, die Entwicklung eines sozialen Zusammengehörigkeitsgefühles durch Schaffung sinnvoller Gruppen, Kommunikationsmöglichkeiten, mehr Verantwortung und Abwechslung das Erreichen dieses Zieles ermöglichen. Aus der Vielzahl der veröffentlichten Lösungsvorschläge sollen die bekanntesten dargestellt werden.

Große Beachtung in der ganzen Welt fanden neben kleineren Projekten der Fa. Volvo (z.B. Arbeitsplatzwechsel in der Polsterei (WEIL, R., 1974 - 6, S. 36/37) die Neubauten des Motorenwerks in Skövde und des PKW-Werks in Kalmar.

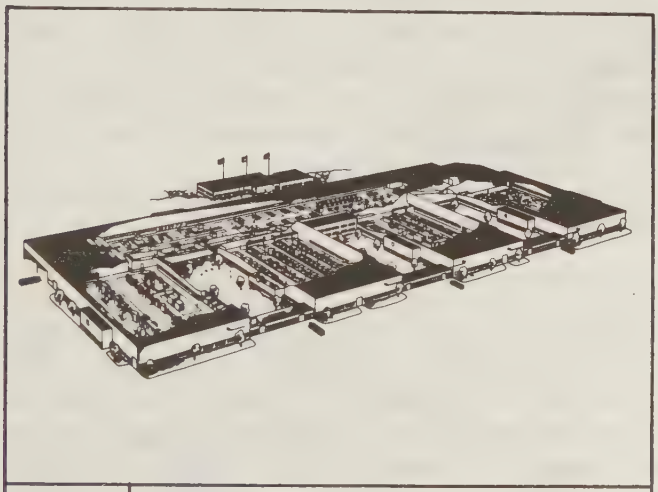


Abb. 5	Volvo Motorenwerk in Skövde

In Skövde wird kleinen Arbeitsgruppen die Verantwortung für Qualitätskontrolle, Materialfluß und Werkzeugwechsel übertragen. Puffer zwischen einzelnen Arbeitsplätzen und Gruppen gestatten eine freiere Gestaltung des Arbeitstempos. Die E-Form des Gebäudes erlaubt den Einbau vieler Fenster und wurde

gewählt, um den Kontakt der Beschäftigten mit der Außenwelt aufrecht zu erhalten. (GIBSON, Ch.H., 1973, S. 66)

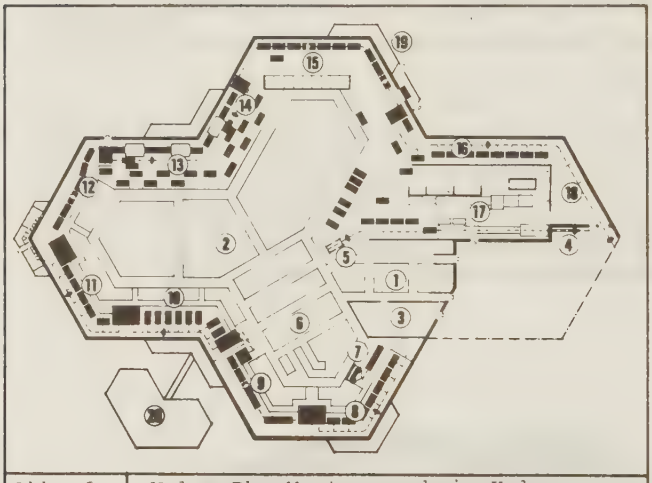


Abb. 6	Volvo Pkw-Montagewerk in Kalmar

((1) Eingangsbereich, (2) Polsterei, (3) Kontrolle für Material und Bauteile, (4) Rohkarosserien, (5) Aufzug, (6) Motoren und Achsenmontage, (7) und (8) Fahrgestell, (9) Bremsen und Räder, (10) Motorenbau, (11) Sitze und Innenausstattung, (12) Inbetriebnahme-Test, (13) Funktionsprüfung, (14) Mechanische Feineinstellung, (15) Nacharbeit an der Karosserie, (16) Nacharbeit am Lack, (17) Endabnahme, (18) fertige Wagen, (19) Eingang, Pausenraum, Garderobe, Duschen, Saunen, (20) Verwaltung)

Auch in Kalmar ist das Hauptziel der Aufbau von autonomen Arbeitsgruppen. Es werden Gruppen mit ca. 15 - 20 Personen gebildet, die jeweils für einen Abschnitt, wie elektrische Anlage, Bremsen und Räder o.ä. verantwortlich sind. Die Verteilung der Arbeit innerhalb der Gruppe und Platzwechsel können frei bestimmt werden. (WEIL, R., 1974 - 6, S. 57)

Bei Neuplanung der Arbeitsorganisation von Volvo werden also autonome Arbeitsgruppen gebildet, der Arbeitsinhalt "im Sinne der Prinzipien des job enlargement und job enrichment" (WEIL, R., 1974 - 6, S. 45) ausgeweitet, job rotation eingeführt und eine "maximale Reduzierung belastender Umwelteinflüsse" (WEIL, R., 1974 - 6, S. 45) [1] erreicht.

Eine weitere interessante Gestaltungsmöglichkeit wurde von der Fa. Saab im Motorenwerk Södertälje verwirklicht.

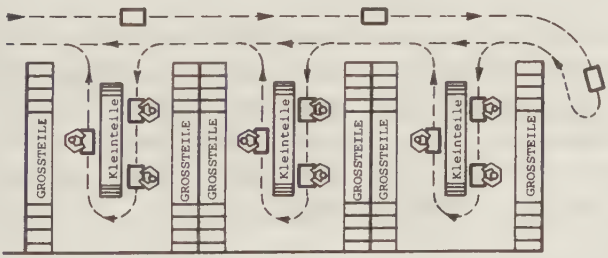


Abb. 7	Gruppenarbeitsplätze des Saab-Motorenwerks in Södertälje

1) Weitere Informationen zu den Volvo-Experimenten GIBSON, Ch.H. (1973), LIVINGSTONE, F.C. (1972), MULLINS, P.J. (1973), RÜHL, G. (1973), SEIFERT, E. (1974), LINGNAU, G. (1974), WEIL, R. (1974 - 6)

Transportwagen, die zugleich als Arbeitstisch dienen, werden in der Vormontage mit Motorblöcken beladen und bewegen sich "mit Hilfe eines in den Boden eingelassenen Förderbandes auf einer endlosen Schlaufe" (WEIL, R., 1974 - 5, S. 45). Jede Arbeitsgruppe, die meist aus 3 Beschäftigten besteht, kann bei Bedarf einen der Transportwagen in ihren Arbeitsbereich holen. Wie die Arbeit, für die insgesamt 30 Minuten vorgegeben sind, auf die Gruppenmitglieder verteilt wird, steht im Ermessen der Gruppe. Selbst wenn die gesamte Arbeit auf 6 Mitarbeiter aufgeteilt wird, ist der Anteil des Einzelnen noch größer als am früheren Fließband.

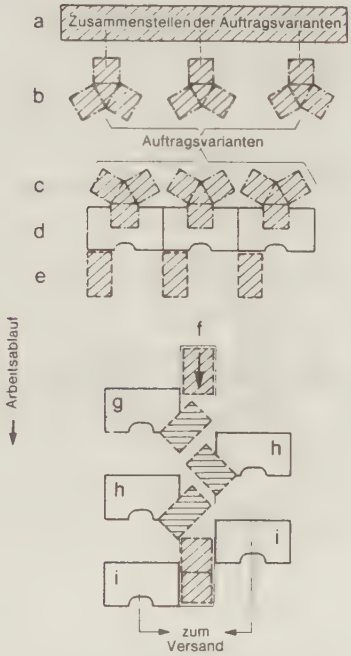
Die Gruppenarbeit ermöglicht hier die Ausweitung des Handlungsspielraums, schafft Identifikationsmöglichkeiten mit dem Produkt, erlaubt Kommunikation und soziale Integration. [1)]

Eine ähnliche Zielsetzung steht hinter den Organisationsmaßnahmen der Fa. Klöckner-Moeller, die einen Übergang vom Fließband auf Einzelarbeitsplätze verwirklichte.

Während die Montage der Schalter früher am Fließband erfolgte, werden heute kleinere Typen vollständig an Einzelplätzen montiert. Größere Typen werden in Baugruppen zerlegt, die jeweils Einzelplätzen zugeteilt sind. Die Teileversorgung der Arbeitsplätze erfolgt mit fahrbaren Behältern, die an die Rückseite der Arbeitsplätze geschoben werden.

---

1) Weitere Informationen zu den Saab-Experimenten: LIVINGSTONE, F.C. (1972), RÜHL, G. (1973), WEIL, R. (1974 - 5).

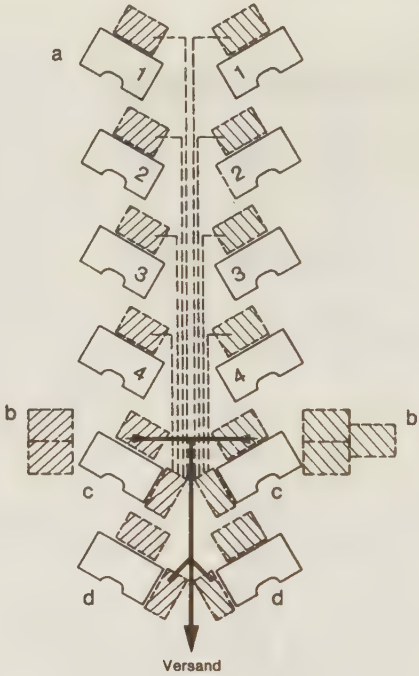


Materialfluß und Hilfseinrichtungen bei der Montage von Geräten in verschiedenen Variationen (hier Nockenschalter) am Einzelarbeitsplatz

a Lager,
b fahrbare Griffkasten,
c an die Montage herangefahrene Griffkasten
d feste Montageplätze,
e Transportwagen für die Fertiggeräte,
f Transportband
g Schraubplatz
h Prüfplatz,
i Packplatz

Abb. 8	Prinzipdarstellung der Montage an Einzelplätzen bei Klöckner-Moeller (WÄLTER, H., 1974, S.21)

Die Einzelplätze wurden in verschiedenen Anordnungen aufgestellt. Ein Beispiel mit Schräganordnung zeigt Abb. 9.



a Montageplätze
(an jeweils zwei Plätzen
wird das gleiche ausgeführt),
b Fertiggerätepuffer,
c Prüfplatz,
d Packplatz

Abb. 9	Einzelarbeitsplätze in Schräganordnung

Von den Mitarbeiterinnen des Schaltgerätewerks Dausenau, Bad Ems, wurden "folgende wesentliche Vorteile genannt:

- mehr persönliche Freiheit am Einzelarbeitsplatz,
- das Leistungserlebnis ist am Einzelplatz größer,
- durch die Montage eines kompletten Gerätes ist die Arbeit nicht so eintönig." (WÄLTER, H., 1974, S. 13)

Aus betrieblicher Sicht kommt dazu, daß trotz längererer Anlernzeit bereits während der Einarbeitung eine Leistung erbracht wird, die Qualität verbessert wurde, die Bewältigung von Kleinserien wesentlich besser möglich ist und die hohe Leistungsfähigkeit Einzelner voll entfaltet werden kann. Dem stehen höhere Kosten des Arbeitsplatzes (ca. Faktor 2), ein größerer Raumbedarf und höhere technische Anforderungen an Geräte- und Werkzeugkonstruktionen gegenüber. (WÄLTER, H., 1974, S. 34 - 37) [1]

Von mehreren, verschiedenartigen Vorschlägen zur Montageorganisation der Fa. Bosch [2] sollen hier die Umlaufmontage und die Trennung zwischen manuellen und automatisch ablaufenden Arbeitsgängen erläutert werden. Bei der Umlaufmontage sind gegenüberliegende Stationen mit einem umlaufenden Transportband verbunden (vgl. Abb. 10). Auch automatische Stationen können integriert sein.

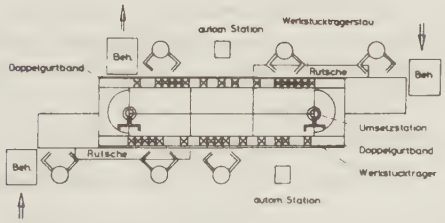


Abb. 10 Umlaufanordnung - Prinzipdarstellung (HAUG, G., 1973, S. 18)

1) Weitere Informationen zu den Maßnahmen von Klöckner Moeller: WEIL, R. (1974-1 und 1974-2), WÄLTER, H. (1974), MICHEL, F. (1975)

2) Weitere Beispiele, die von Bosch vorgestellt wurden s. HAUG, G. (1973) und (1975), vgl. auch die Veröffentlichung der Bosch-Siemens Hausgeräte GmbH: WEXLBERGER, L. (1975)

Das Umlaufband kann mit einer oder mehreren Personen besetzt sein. Wenn alle Stationen bedient werden, besteht der Unterschied zu einem herkömmlichen Fließband nur noch in verbesserten Kommunikationsmöglichkeiten und in der Bildung von kleinen Gruppen. Sind dagegen weniger Personen als Stationen eingesetzt, so dient der verbleibende (= unbesetzte) Teil des Umlaufbandes als Puffer, der nach Platzwechsel der (oder des) Mitarbeiter(s) abgearbeitet wird.

Hauptvorteil dieser Anordnungsform, die sich in der Praxis gut bewährt hat, ist die Möglichkeit, durch Variation der Mitarbeiterzahl flexibel auf Stückzahlschwankungen zu reagieren. Wichtig ist auch, daß Personalausfälle (Krankheit usw.) die Arbeitsmöglichkeiten der übrigen Mitarbeiter nicht beeinflussen, soziale Kontakte zu den Kollegen sehr gut möglich sind, die Identifikation mit der eigenen Arbeit durch eine Vergrößerung des Arbeitsinhalts bis zur Montage des vollständigen Produktes möglich wird und bereits während der Einarbeitungszeit eine Leistung erbracht wird.

Zu einem Grundprinzip der Fertigungsgestaltung wurde im Hause Bosch die Trennung manueller Arbeiten von automatischen Prozessen durch Puffer.

Unter anderem wurde dieses Prinzip bei der Montage von Signalhörnern im Werk 1, Nürnberg, der R. Bosch GmbH verwirklicht.

Im "manuellen Bereich" führen die Mitarbeiter an einem Arbeitsplatz alle manuellen Arbeitsgänge aus. Diese Arbeitsplätze sind voneinander unabhängig und durch einen Puffer (max. ca. 20 Min. Arbeitsinhalt) vom mechanisierten Teil getrennt. Ein Verlassen des Arbeitsplatzes ist so ohne weiteres möglich. Störungen, die hier auftreten, beeinträchtigen den Arbeitsablauf an den Handarbeitsplätzen im Normalfall nicht.

Die Zusammenfassung der manuellen Arbeiten zu einem Arbeitsgang erlaubt die Identifikation der Arbeitskräfte mit dem Produkt und hebt die Anonymität von Montagefehlern auf.

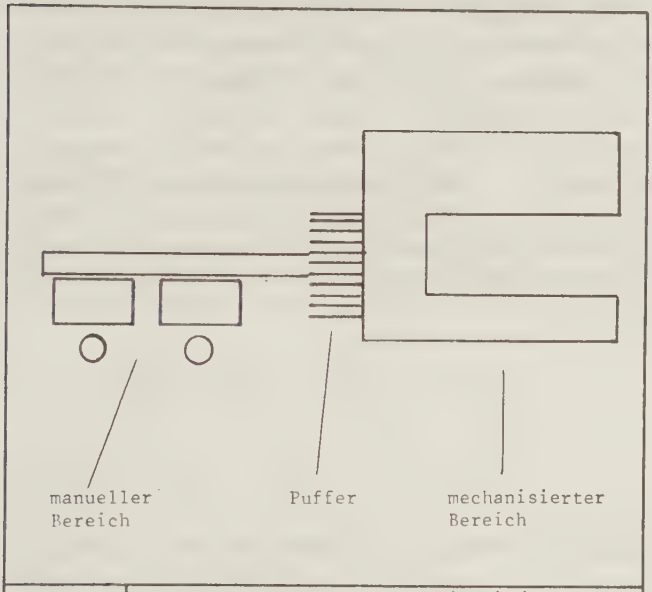


Abb. 11	Trennung manueller -mechanisierter Bereiche einer Montageeinrichtung

Mit den beschriebenen Beispielen wurden verschiedene Möglichkeiten aufgezeigt, die industrielle Arbeit, speziell Montagevorgänge, unter Berücksichtigung humaner Einflußgrößen umzugestalten. Die genannten Prinzipien, Auflösung langer Fließbänder in kleinere aufeinanderfolgende Gruppen (Volvo), Einrichtung von Parallelarbeitsgruppen, die Teile aus dem Fertigungsfluß nehmen (Saab), Übergang zu Einzelarbeitsplätzen (Klöckner-Moeller), Einführung von Umlaufsystemen (Bosch) und

Trennung in manuelle und mechanisierte Arbeitsgänge (Bosch), stellen den Rahmen dar, in den sich auch die Versuche anderer Unternehmen einordnen lassen. Informationen zu weiteren Strukturierungsmaßnahmen wurden veröffentlicht von:

BEEK, H.G. van (1973, BREDE, H. (1974), BROKMANN, W. (1974), BUTERA, F. (1973), FONTIJNE, J. (1973), GROTHUS , H. (1972), HERTOG, F. J. u. KERKHOFF, W.H.C. (1974), HINTZE, H.-U. (1974), LINDLOCH, R. (1974), LINDNER, E. (1975), OLDANI, B. (1975), PFEIFFER, W., STAUDT, E. (1976), RACKEL, K. (1975), REUTE-BUCH, R. (1971), RÜHL, G. (1973), SCHLITZBERGER, H.H. (1975), SCHWARTMANN, J. (1975), THORIN, H. (1974), WEERTZ, P. (1974), WEIL, R. (1973), (1974-1 bis 1974-6), (1975), ZIEGLER, B. (1974), ohne Verfasser (1972, 1974-1, 1974-2).

3. Entwicklung des Lösungsverfahrens

Bei jeder Planung von Montageabläufen stehen dem Entscheidungsträger verschiedene Anordnungsmöglichkeiten zur Verfügung. Für die oben beschriebenen Produkte sind alle Organisationsformen, von der vollständigen Montage eines Erzeugnisses an einem Arbeitsplatz bis zur weitestgehenden Verteilung der Arbeitselemente auf viele Stationen, möglich.

3.1. Auswahl von Anordnungsformen

Um nun dem Montageplaner die systematische Ermittlung aller Organisationsvarianten zu ermöglichen, müssen Entscheidungsvariable und Nebenbedingungen erläutert werden.

3.1.1. Entscheidungsvariable

3.1.1.1. Organisationsform

Die wichtigste Entscheidung betrifft die Organisationsform selbst. Da bei den gegebenen Produkten alle Organisationsformen denkbar sind, können Lösungen durch folgendes Kontinuum beschrieben werden.

Komplett-montage	Zwischen-formen	Linien-montage

Abb. 12 Organisationsmöglichkeiten

Komplettmontage liegt vor, wenn alle Montagearbeitsgänge von einer Person unmittelbar hintereinander ausgeführt werden.

Bei Linienmontage werden die Arbeiten unmittelbar aufeinanderfolgend von mehreren Arbeitskräften, die direkt voneinander abhängen, ausgeführt.

Mit Zwischenformen sind Anordnungen gemeint, deren Arbeitsplätze durch Puffer voneinander getrennt sind. Kommunikation zwischen den Arbeitskräften wird ermöglicht und die Gruppengröße (= Anzahl der Stationen einer Anordnung) auf 4 - 12 Personen beschränkt.

Gruppen mit mehr als 12 Personen werden auch dann, wenn Zwischenpuffer vorhanden sind, den Linienmontagen zugerechnet, da die Überschaubarkeit der Gruppe und damit die Entwicklung eines Zusammengehörigkeitsgefühls erfahrungsgemäß stark abnimmt.

Unterscheidungsmerkmale der Organisationsvarianten sind die Personenzahl je zusammengehöriger Gruppe und die räumliche Gestaltung von Arbeitsplätzen, Puffern usw..

3.1.1.1.1. Personenzahl

Für ein gegebenes Produkt ist die erforderliche Personenzahl durch Arbeitsaufwand pro Einheit, verfügbare Arbeitszeit und gewünschte Stückzahl bestimmt.

$$PERS = \text{entier} \frac{SUTI \cdot ST}{TBEARB} \cdot SM$$

PERS: benötigte Personenzahl (= Anzahl der erforderlichen Arbeitsplätze bei Einschichtbetrieb)

SUTI: Summe der Bearbeitungszeiten eines Erzeugnisses

ST: geforderte Stückzahl
(ST und TBEARB sind auf den gleichen Zeitraum bezogen)

TBEARB: gesamte verfügbare Arbeitszeit bei Einschichtbetrieb
SM: Zahl der Schichten (1, 2 oder 1 $\frac{6}{8}$)

Im hier vorliegenden Planungsstadium ist die Angabe der pro Erzeugnis notwendigen Bearbeitungszeit problematisch, da noch keine Informationen über einige der zeitbestimmenden Faktoren vorliegen. Die Bearbeitungszeit wird bestimmt von Zahl und Art der Fügevorgänge am Erzeugnis, von der Anordnung der Vorratsbehälter und von der Zahl der Aufnahme- und Ablegevorgänge beim Weitertransport. Die für die Entlohnung insgesamt vorzugebende Zeit umfaßt weitere Komponenten (vgl. Abb. 13).

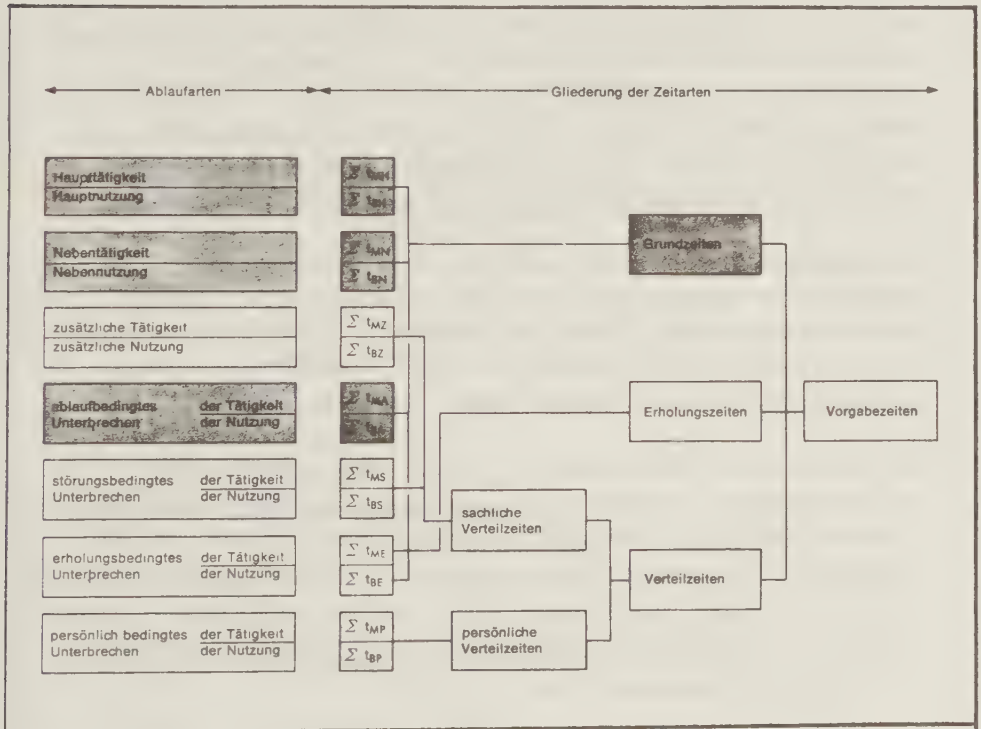


Abb. 13 Gliederung der Vorgabezeit bei Mensch und Betriebsmittel (REFA , Bd. 2, 1972, S. 45)

Die Vorgabezeiten zur Ermittlung der erforderlichen Personenzahl werden im vorliegenden Planungsstadium als Schätzwerte angegeben, die von einer Gestaltung der Arbeitsplätze nach MTM-Normen und einer mittleren Zahl von Aufnahme bzw. Ablegevorgängen ausgehen. Da in allen Fällen die gleiche Mechanisierung angenommen wird, bleibt diese Vorgabezeitkomponente für die meisten Alternativen gleich, weil im Arbeitsfortschritt verfahrensbedingte Lageänderungen und Einlegen in Spezialwerkzeuge und Aufnahmen notwendig sind. Nur sehr stark aufgesplitterte Organisationsformen (hier > ca. 20 Stationen oder Taktzeiten < 0,15 Min/Stck) erfordern häufigeres Aufnehmen und Ablegen. Beim Teiletransport auf Werkstückträgern entfallen Aufnehmen und Ablegen meist völlig, da alle Arbeiten direkt auf dem Transportmittel erfolgen. Wegen der starren Positionierung der Teile auf den Werkstückträgern treten häufig längere Montagezeiten auf, wenn eine oder mehrere Seiten nicht voll zugänglich sind. Eine Variation der von den Fertigungsplanern angegebenen Vorgabezeiten erfolgt wegen der genannten Einflußgrößen nicht.

Die Vorgabezeiten werden jedoch dort den realen Verhältnissen angepaßt, wo genauere Informationen verfügbar sind. Bei der Zusammenfassung sehr vieler Tätigkeiten an einem Arbeitsplatz, also z.T. bei Komplettmontage, wird die Vorgabezeit erhöht, da lange Greif- und Bringwege bewältigt werden müssen.

An verschiedenen Montagebändern in der Praxis wurden als durchschnittlicher Greifweg vom Arbeitsbereich auf dem Montagetisch bis zu den Vorratsbehältern für Einzelteile ca. 24 cm ermittelt. [1] Müssen nun verschiedene Teile eines Erzeugnisses

---

1) Die Ermittlung der durchschnittlichen Weglänge erfolgte nach den Angaben in den MTM Entlohnungsanalysen, die je Arbeitsplatz vorhanden sind.

an einem Arbeitsplatz untergebracht werden, so müssen auch Vorratsbehälter im Griffbereich des Mitarbeiters vorhanden sein. Um verschiedene Teilegrößen bewältigen zu können, werden hier für elektrotechnische Kleingeräte vier Behälterarten angegeben.

Behälter	Stirnfläche
Typ 1	80 x 40
Typ 2	160 x 80
Typ 3	240 x 160
Typ 4	240 x 80

Tab.: 5 Behältertypen für Einzelteile

Sind die Gesamtzahl der Einzelteile und deren Größe bekannt, so stehen auch Art und Behälterzahl je Typ fest. Daraus wird die Größe der insgesamt auftretenden Greiffläche berechnet.

$$GF = \sum_{j=1}^{m} A_j \cdot SF_j$$

GF: Gesamte Greiffläche

A_j: Anzahl der Behälter des Typs 1

SF_j: Stirnfläche des Behältertyps j

Wenn außerdem die Höhe H angegeben wird, bis zu der die Behälter übereinander angebracht werden sollen, kann die durchschnittliche Weglänge wie folgt errechnet werden:

$$WL = \frac{GF}{2{,}8 \cdot H} \quad [cm]$$

WL: Weglänge
GF: Greiffläche
H: maximale Aufbauhöhe

Der konstante Divisor 2,8 ergab sich bei der empirischen Bestimmung der mittleren Greifwege. Zur Bestimmung des Zuschlages auf die Vorgabezeit muß die Differenz aus berechneter und normaler Weglänge, gewichtet mit der Häufigkeit der Greifbewegungen, in Zeitgrößen transformiert werden.

$$SSA = (WL - 24) \cdot 0{,}048 \cdot TZ \quad [min]$$

SAA: Zuschlag wegen der Stationengröße
WL: berechnete Weglänge
TZ: Anzahl der Einzelteile an der Station
24: durchschnittliche Weglänge, die in der Planvorgabezeit enthalten ist.
0,048: Umrechnungsfaktor, der sich aus den MTM-Bestimmungen ergibt (1 cm Greif- und Bringbewegung hin und zurück beansprucht 0,048 Minuten)

Nach Erhöhung der ursprünglich angegebenen Vorgabezeit um SSA kann die endgültige Berechnung der erforderlichen Stationenzahl erfolgen.

$$PERS = \left(\text{entier} \; \frac{(SUTI + SSA) \cdot ST}{TBEARB} \right) \cdot SM$$

Bei vertakteter Montage kann eine Korrektur der Vorgabezeit notwendig werden, wenn die angegebene Montagezeit nicht so auf die Stationen zu verteilen ist, daß die an allen Stationen gleiche Taktzeit immer erreicht wird. [1] Für die Bezahlung

---

1) Vgl. oben S. 38 Verfahren zur Minimierung der Abstimmungsverluste.

der Arbeitskräfte sind stets die Zahl der Stationen (N) und die Taktzeit (TA) maßgebend. Da in der Praxis diese vollkommene Übereinstimmung, also ein Taktverlust von 0, kaum jemals zu erreichen ist, [1] wird eine Alternative nur zugelassen, wenn sie als Linienmontagevariante einen Taktverlust, der größer als eine Untergrenze ist, aufweist.

Zunächst erfolgt die Taktverlustberechnung mit Hilfe der oben (vgl. S. 52) ermittelten Personenzahl

$$TA = \frac{TBEARB}{ST} \qquad [\text{min/Stück}]$$

$$TV = \frac{\frac{PERS}{SM} \cdot TA - SUTI}{\frac{PERS \cdot TA}{SM}} \cdot 100 \qquad [\%]$$

TA: Taktzeit; TV: Taktverlust (= Abstimmungsverlust)

Ist TV < Untergrenze, so darf angenommen werden, daß in der Praxis eine Zuordnung aller Arbeiten auf die ermittelte Personenzahl nicht erfolgen kann. Deshalb wird die Personenzahl um 1 erhöht. Die neue tatsächlich erforderliche Vorgabezeit ist dann

$$VT = \left(\frac{PERS}{SM} + 1 \right) \cdot TA$$

VT: Vorgabezeit

Bei nicht vertakteter Fertigung (also Komplettmontage und Zwischenformen) tritt dieses Problem nicht auf.

---

1) Im hier untersuchten Werk liegen die Taktverluste zwischen 4 % und 12 % der insgesamt benötigten Zeit. Vgl. auch KILBRIDGE, M. und WESTER, L. (1961)

Die übrigen Komponenten der Vorgabezeit, wie Rüstzeit, persönliche und sachliche Verteilzeit, Maschinenlaufzeiten usw. sind bereits in der Plan-Vorgabezeit enthalten und bedürfen hier keiner Korrektur.

Im praktischen Arbeitsablauf tritt durch die tatsächliche Leistung der Arbeitskräfte eine effektive Veränderung der Vorgabezeit ein.

$$VT_{eff} = \frac{VT}{DULEI}$$

VT_{eff}: effektiv benötigte Vorgabezeit
VT: vorgegebene Zeit
DULEI: Durchschnittlicher Leistungsfaktor

Da der durchschnittliche Leistungsfaktor größer als 1 ist, handelt es sich in der Praxis fast nur um Verkürzungen der Vorgabezeit. [1)]

Das heißt: bei sonst gleichen Bedingungen sinkt tendenziell die erforderliche Personenzahl. Praktische Erfahrungen zeigen jedoch, daß bei Vernachlässigung dieses Einflusses auf die Personenzahl eine erwartete Stückzahlerhöhung nicht eintritt, da Störzeiten, Wartezeiten und andere durch die Organisation nicht beeinflußbare Größen zu einer Kompensation der Zeiteinsparung führen.
Neben dieser empirischen Feststellung läßt, im Stadium der Grobplanung, auch die geringe Sicherheit der Stückzahl- und Vorgabezeitausgaben dieses Vorgehen gerechtfertigt erscheinen.

3.1.1.1.2. Stückzahl

Neben der Vorgabezeit wird die Personenzahl auch von der geforderten Stückzahl direkt beeinflußt (vgl. S.52). Bei gegebener Vorgabezeit (SUTI) und verfügbarer Arbeitszeit (TBEARB) determiniert die Stückzahl (ST) die Zahl der benötigten Arbeitskräfte (PERS). Da die Personenzahl eine ganzzahlige Variable ist, bewirkt eine bei bestimmten Stückzahlvorgaben not-

---

1) Im untersuchten Betrieb liegt der durchschnittliche Leistungsfaktor bei ca. 1,27.

wendige Ergänzung zur nächst größeren ganzen Zahl ceteris paribus eine Stückzahlerhöhung.

Auch die verschiedenen Variationen der Vorgabezeit führen zu Stückzahlerhöhungen, sofern es zu einer Erhöhung der Personenzahl kommt. Nur, wenn nach einer Korrektur der Vorgabezeit die Berechnung der Personenzahl keinen anderen Wert erbringt als im Ausgangszustand, kommt es zu einer Verminderung der Stückzahl. Mindestens erreicht wird jedoch immer die Sollmenge (ST).

Diese Abweichung von der Sollstückzahl wird hier in Kauf genommen. Da alle Stückzahlangaben Prognosen für die Zukunft darstellen, erscheint es gerechtfertigt anzunehmen, daß Veränderungen, die aus Personenzahlschwankungen resultieren, den Verkauf nicht beeinträchtigen; weder bei Unter- noch bei Übererfüllung der Sollmenge.

3.1.1.1.3. Verfügbare Montagezeit

Soll in einem festgelegten Zeitraum, z.B. ein Jahr, eine bestimmte Ausbringung erreicht werden, so ist die verfügbare Montagezeit eine weitere Entscheidungsvariable.

Für Montagearbeiten sind in der Praxis meist eine oder zwei Schichten vorgesehen. Der Schichtwechsel erfolgt normalerweise im Wochenrhythmus. In einigen Fällen sind auch sog. Hausfrauenschichten bekannt, die auf 6 Stunden verkürzt sind. Drei-Schichtbetrieb kommt in Montageabteilungen kaum vor.

Folgende Kombinationen sind daher möglich:

1 Normalschicht
1 Normalschicht und 1 Hausfrauenschicht
2 Normalschichten.

Die Wahl der Schichtenkombination hat Auswirkungen auf

- die Lohnkosten, da bei Zweischichtenbetrieb Schichtzuschläge in Höhe von 15 % der Normallohnkosten bezahlt werden müssen.
- die erforderlichen Investitionen, da bei Mehrschichtbetrieb und gleicher Personenzahl weniger Arbeitsplätze notwendig sind als bei Einschichtbetrieb, um die gleiche Ausbringungsmenge zu erreichen.

Die Variation der verfügbaren Montagezeit hat also nur dann Auswirkungen auf die Personenzahl, wenn der Zeitraum zur Montage einer bestimmten Stückzahl ohne Veränderung der Schichtkombination variiert wird oder wenn die Änderung der Montagezeit kein Vielfaches ist, das einer anderen zulässigen Schichtkombination entspricht.

3.1.1.2. Räumliche Anordnung

Eine sehr wichtige Entscheidung für die Güte einer Montageorganisation betrifft die Anordnung der Arbeitsplätze. Obwohl theoretisch unendlich viele verschiedene Gruppierungen von Arbeitsplätzen denkbar sind, beschränkte man sich in der Vergangenheit weitgehend auf Schoßband und Skelettband.

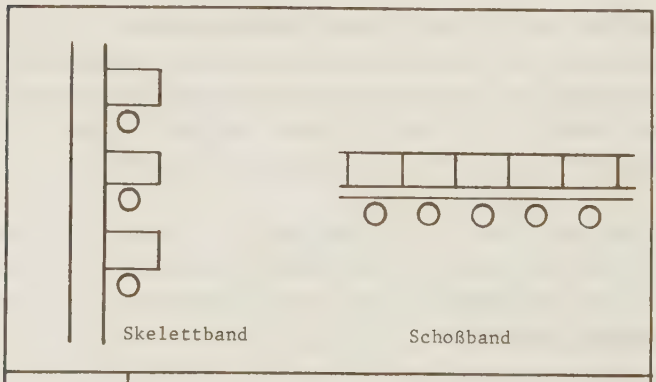


Abb. 14 traditionelle Montageorganisationsf.

Erst nachdem die Versuche, strukturierte Arbeitssysteme aufzubauen, bekannt wurden, ging man in vielen Unternehmen dazu über, auch andere Anordnungen zu verwirklichen.

Anhand der dann vorgestellten Gestaltungsmöglichkeiten und einiger weitergehender Überlegungen wird im folgenden versucht, eine Systematik zur Ermittlung verschiedener Ablauforganisationen zu entwickeln.

3.1.1.2.1. Paralleleinrichtungen

Nachdem in Abhängigkeit von Stückzahl, Vorgabezeit und verfügbarer Montagezeit, die Zahl der erforderlichen Stationen festgelegt ist, muß für alle Organisationsformen, in denen mehrere Mitarbeiter zur Montage eines Produktes kooperieren, festgelegt werden, ob alle zu einer Gruppe zusammengefaßt werden oder ob mehrere Paralleleinrichtungen verwirklicht werden sollen.

Sind z.B. 20 Stationen notwendig, so kann die Montage der gewünschten Stückzahl an einer Einrichtung mit 20 Stationen, an zwei Einrichtungen mit je 10 Stationen, an vier Einrichtungen mit je fünf Stationen, an fünf Einrichtungen mit je vier Stationen oder an einer anderen beliebigen Kombination von Einrichtungen erfolgen, solange folgende Bedingung erfüllt ist:

$$N = \sum_{j=1}^{PFR} STA_j$$

N: Gesamte erforderliche Stationenzahl

STA_j: Stationenzahl der Einrichtung j

PFR: Zahl der selbständigen Einrichtungen

Diese allgemeine Bedingung für die Einhaltung der Stationenzahl ist jedoch nicht praxisgerecht. Bei der Auslegung mehrerer Montageeinrichtungen für ein Produkt sind dann, wenn unterschiedliche Stationenzahlen auftreten, so viele zusätzliche Überlegungen anzustellen, daß normalerweise nur identische Paralleleinrichtungen realisiert werden.

Diese Einschränkung gilt deshalb auch hier. Wird bei Division der Stationenzahl N durch die Zahl der gewünschten Paralleleinrichtungen kein ganzzahliges Ergebnis erreicht, so wird die Stationenzahl je Paralleleinrichtung immer zur nächsten ganzen Zahl erhöht, da nur so die Stückzahlerfüllung möglich ist. (Die Übererfüllung muß in diesem Fall in Kauf genommen werden.) Die Ermittlung der Varianten wird eingestellt, sobald die Stationenzahl je Einheit kleiner als vier wird, da dann nicht mehr von einer Gruppe gesprochen werden kann und man sich dem Zustand der Komplettmontage annähert.

Die Zahl der Paralleleinrichtungen hat Einfluß auf die Investitionen (alle Vorrichtungen und Werkzeuge müssen öfter angeschafft werden), auf die Flexibilität bei Variantenfertigung (nur eine von mehreren identischen Einrichtungen wird umgerüstet), auf den Raumbedarf (mehrere Zu- und Ablieferplätze sind notwendig) und auf die Auslastung der Maschinen (die Auslastung sinkt, da die gleiche Stückzahl über mehrere identische Maschinen läuft).

3.1.1.2.2. Anordnungsformen

Die Gestaltungsmöglichkeiten sind einzuordnen in Komplettmontage, Linienmontage oder Zwischenformen.

Bei Komplettmontage kann neben der Teilean- auch die -ablieferung von Hand erfolgen.

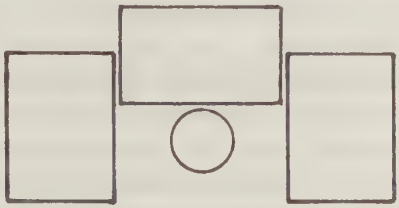


Abb. 15	Komplettmontage: manuelle Ablieferung

Auch eine maschinelle Ablieferung der Fertigteile zum Prüfen, Verpacken oder Versenden ist denkbar.

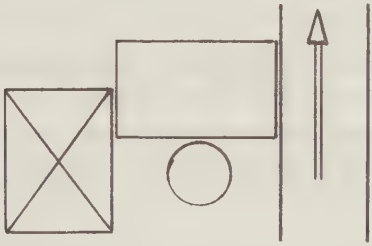


Abb. 16	Komplettmontage: mechanisierte Ablieferung

Da Stückzahl und Bearbeitungszeiten festgelegt sind und die Vorgabezeit nach der Korrektur um den Stationsgrößenzuschlag ebenfalls gegeben ist, kann nur eine Komplettmontagealternative existieren. Wegen der prinzipiell geringen Unterschiede zwischen den beiden räumlichen Anordnungen wird nur eine davon betrachtet.

Komplettmontage erfordert für jeden Arbeitsplatz die Anschaffung sämtlicher Werkzeuge, Vorrichtungen und Maschinen. Da ein vollständiges Erzeugnis von einem Mitarbeiter montiert wird, können nur qualifizierte Arbeitskräfte eingesetzt werden. Das bedingt relativ hohe Lohngruppen und lange Anlernzeiten. Das Montagepersonal ist voneinander völlig unabhängig

und durch normalerweise große Platzaufbauten daran gehindert, mit Kollegen Kontakt aufzunehmen. Die Flexibilität bei Typenvariation und Stückzahlschwankungen ist groß, da Arbeitsplätze für spezielle Typen eingerichtet werden können und bei gegebener Montagezeit auch auf geringe Stückzahlminderungen durch Freisetzen eines oder mehrerer Arbeitsplätze reagiert werden kann. Bei Stückzahlsteigerungen können leicht weitere Komplettmontageplätze eingerichtet werden. Technische Änderungen am Erzeugnis oder am Montageverfahren sind aufwendig, da sie Änderungen aller Arbeitsplätze bedingen. Der Raumbedarf ist relativ groß, weil an jedem Arbeitsplatz An- und Ablieferung von Teilen bzw. Erzeugnissen möglich sein muß.

Störungen wirken sich nur am jeweiligen Arbeitsplatz aus. Auch bei Umrüstvorgängen wird nur eine Station betroffen.

Die Linienmontage bietet einige verschiedene Gestaltungsprinzipien:

- Das Skelettband, bei dem die Teile von einer Transporteinrichtung an der Stirnseite des Arbeitstisches geholt und nach der Bearbeitung dorthin zurückgelegt werden. Der Weitertransport zum nächsten Arbeitsplatz kann durch einen mechanischen Antrieb oder von Hand erfolgen.

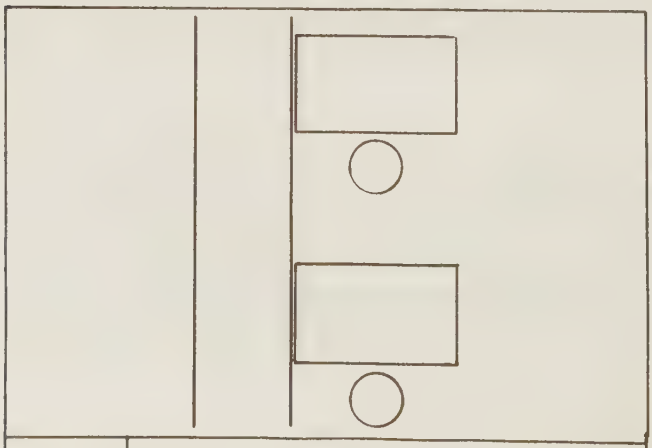


Abb. 17 Skelettbandanordnung

Der Transport der Teile ist lose oder auf Werkstückträgern möglich.

- Das Schoßband, bei dem die Transporteinrichtung an der Längsseite des Arbeitstisches vor der Bedienungsperson angebracht ist.
  Die Ausführung der Arbeit erfolgt entweder auf dem Tisch oder direkt auf dem Transportband. Diese Anordnungsform wird oft für Werkstückträgerbänder verwendet. Auch hier kann der Transport manuell (Schiebebänder) oder maschinell erfolgen.

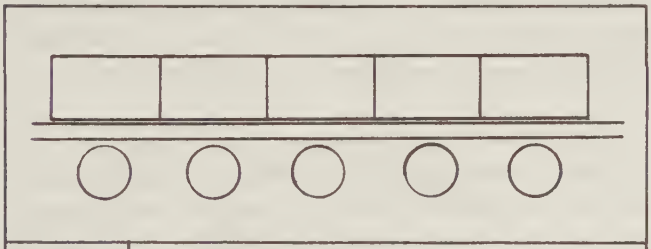


Abb. 18 Schoßbandanordnung

Alternativen dieser beiden Anordnungsvarianten werden generiert. Auch wenn weitere Gestaltungsmöglichkeiten existieren (vgl. Abb. 19, weitere Formen wären denkbar), handelt es sich doch immer um Variationen des Skelett- oder Schoßbandprinzips.

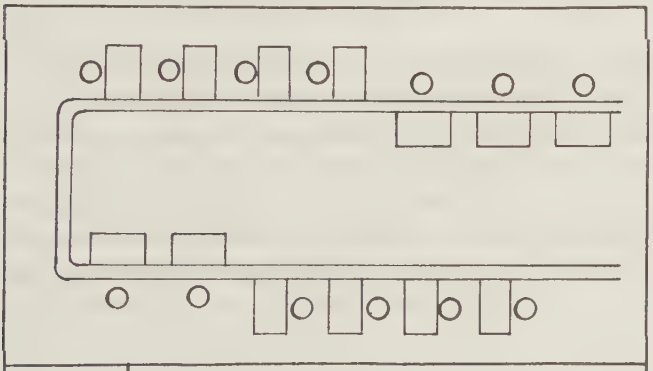


Abb. 19 Kombination Schoßband-Skelettband

Mischformen, d.h. ein Teil Skelettbandanordnung, der andere Teil Schoßbandanordnung, werden nicht betrachtet.

Bei der Linienmontage sind benachbarte Arbeitskräfte direkt voneinander abhängig. Da nur sehr kleine oder keine Puffer zwischen den Arbeitsplätzen vorhanden sind, wirken sich Störungen, Umrüstvorgänge und Schwankungen der Arbeitsleistung auf alle Stationen aus. Der Ausfall von Personen durch Krankheit, Urlaub usw. bewirkt einen sofortigen Stillstand der gesamten Einrichtung, wenn nicht Springer oder Ersatzpersonen die entstehenden Lücken auffüllen.
Technische Änderungen sind leicht durchzuführen, da neue Werkzeuge oder Vorrichtungen nur ein Mal (oder wenige Male bei Paralleleinrichtungen) angeschafft werden müssen.

Die Arbeit ist auf mehrere Stationen verteilt. Das bewirkt Abstimmungsverluste, macht jedoch die Tätigkeit und ihr Erlernen einfach, da nur wenige Handgriffe ausgeführt werden müssen. Die häufige Wiederholung dieser Tätigkeiten kann zu Monotonieempfinden führen. Eine Identifikation mit dem Produkt ist kaum möglich. Bei hinreichend kleinen Gruppen (etwa $<$ 12 Mitarbeiter) können zwar gut soziale Kontakte entstehen, die sich aber auf Arbeitspausen beschränken, da wegen der Anordnungsform während der Arbeitsausführung eine Kontaktaufnahme schwierig ist. Der Raumbedarf für Linienmontagealternativen ist ebenso wie die Investition gering.

Zur Erzeugung der Zwischenformen wird die Personenzahl je Gruppe auf 4 bis 12 Mitarbeiter beschränkt. Das bedingt Paralleleinrichtungen, wenn die insgesamt errechnete Stationenzahl größer als 12 ist (vgl. hierzu Punkt 3.1.1.2.1.).

Während bei Komplett- und Linienmontage immer alle Stationen besetzt sind, können als Zwischenformen auch Anordnungen mit

mehr Stationen als Personen vorkommen. Folgende grundsätzliche Prinzipien werden unterschieden:

- Umlaufprinzip
- partielles Umlaufprinzip
- Transferprinzip

Umlaufprinzip

Beim Umlaufprinzip sind gegenüberliegende Stationen mit einem umlaufenden Transportsystem verbunden (vgl. oben S. 47).

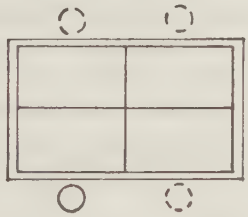


Abb. 20 Umlaufanordnung

Die vollständige Montage des Erzeugnisses ist beim Umlaufband auf die n vorhandenen Stationen verteilt. (Eine Umlaufanordnung kann mit vier, sechs oder mehr Stationen aufgebaut werden.) Sind weniger als n Personen eingesetzt, so steht der Rest des umlaufenden Bandes als Puffer zur Verfügung. Sobald die teilweise bearbeiteten Werkstücke die erste besetzte Station wieder erreichen, der Puffer also gefüllt ist, besetzen die Mit-

arbeiter die folgenden Stationen und führen die nächsten Arbeitsgänge aus. Ein Umlaufsystem mit n Stationen, muß also mit mindestens einer Person besetzt sein, die nacheinander alle Arbeiten ausführt, und kann maximal mit n Personen besetzt werden, die dann wie an einem Schoßband zusammenarbeiten.

Die Einrichtung eines Umlaufbandes kann z.B. dann erfolgen, wenn die vollständige Montage eines Produkts von einer Person ausgeführt werden soll, jedoch nicht alle erforderlichen Einrichtungen auf einem Montagetisch sinnvoller Größe Platz finden.

Auch bei Bildung kleiner Gruppen kann die Umlaufanordnung sinnvoll sein.
Diese Überlegungen gelten nicht nur für die abgebildete Rechteckanordnung, sondern auch für folgende und weitere denkbare Raumgestaltung, die als "Umlaufanordnung" angesehen werden können.

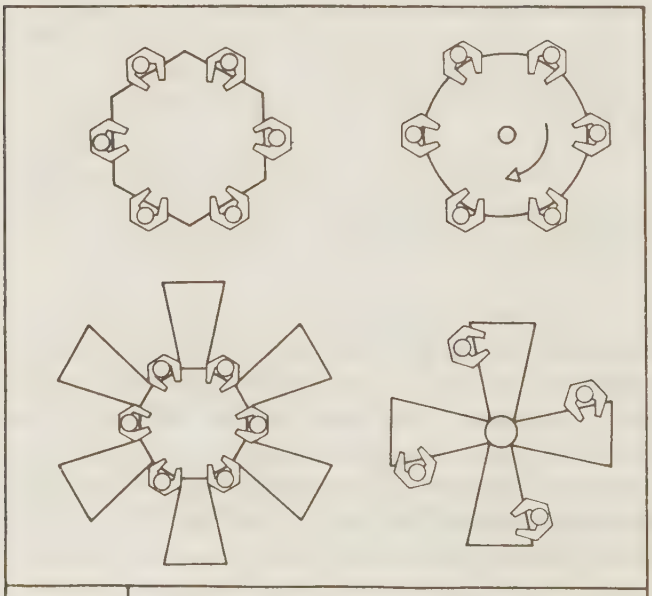


Abb. 21	Alternative Umlaufanordnungen (Quelle: RÜHL, G., 1973, S.183)

Umlaufsysteme gestatten also die Montage vollständiger Produkte, geben bei Besetzung mit mindestens zwei Personen gute Kommunikationsmöglichkeiten und sind sehr flexibel, da die Personenzahl von 1 bis n variieren kann. Wenn alle Arbeiten von einer Person ausgeführt werden sollen, ist eine relativ hohe Qualifikation erforderlich. Der Anlernvorgang dauert lange, ist aber ohne Behinderung anderer Mitarbeiter durchzuführen. Während der Anlernperiode wird bereits Leistung erbracht. Eine Abstimmung der Arbeitsinhalte an den Stationen braucht nicht zu erfolgen. Die Investitionen und der Raumbedarf sind relativ hoch, da entweder für je eine Person oder für kleine Gruppen (2 - 6 Personen) jeweils alle Werkzeuge und Vorrichtungen vorhanden sein müssen und meist mehr Stationen als Personen notwendig sind.

Partielles Umlaufprinzip

Im Hinblick auf gute Kommunikationsmöglichkeiten und große Flexibilität wurde das partielle Umlaufsystem entwickelt.

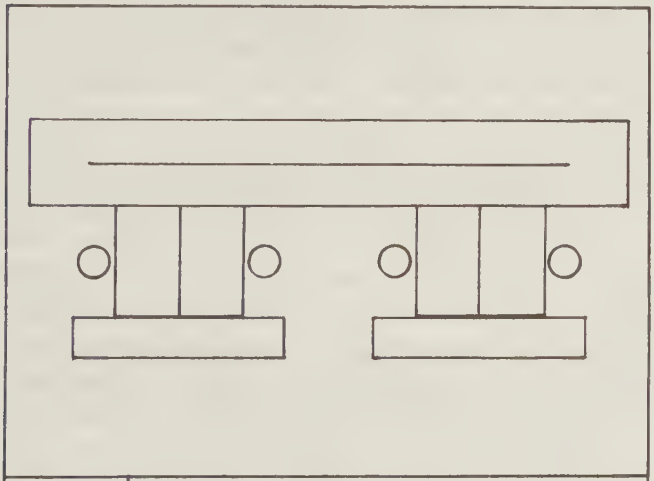


Abb. 22 Partielles Umlaufprinzip

Jeweils zwei Personen sitzen einander gegenüber und sind durch große Puffer miteinander verbunden. Die Teile werden dem Umlaufpuffer entnommen, an einer Station bearbeitet und gehen über Zwischenpuffer, nach Bearbeitung an der nächsten Station, zu dem Umlaufpuffer zurück. Wenn nun die nächste Zweiergruppe ebenfalls besetzt ist, wiederholt sich der beschriebene Ablauf. Sind jedoch diese und die weiteren Zweiergruppen unbesetzt, kann so lange an den besetzten Stationen weitergearbeitet werden, bis der Umlaufpuffer gefüllt ist. Dann erfolgt der Platzwechsel zur nächsten Zweiergruppe usw.. Verglichen mit dem Umlaufsystem wird, wegen der großen Puffer, hier auch dann die Unabhängigkeit der Arbeitskräfte voneinander erreicht, wenn alle Stationen besetzt sind.

Der große Umlaufpuffer ermöglicht es auch, mit weniger Personen als Stationen zu arbeiten. Im Extremfall ist das System mit einer Person noch arbeitsfähig. Eine Anpassung an Stückzahl und Personenzahlschwankungen ist also möglich. Da immer zwei Personen an gegenüberliegenden Tischen arbeiten, sind Kommunikationsmöglichkeiten gegeben. Die Arbeitskräfte können zunächst für die Tätigkeiten einer Station angelernt werden und allmählich durch Platzwechsel, wenn der Pufferstand dies erlaubt, ohne Behinderung der Kollegen auch die Arbeiten an den anderen Arbeitsplätzen erlernen. Die Investitionen sind nicht sehr hoch, da das System die Bildung größerer Gruppen erlaubt, also wenige Paralleleinrichtungen notwendig sind.

Transferprinzip

Das Transferprinzip ist dadurch gekennzeichnet, daß der Materialfluß konstant in einer Richtung verläuft. Eine Rückkehr wie beim Umlaufprinzip ist nicht möglich.

Nach der Art der Fortbewegung der Teile werden manuelle und mechanisierte Transferprinzipien unterschieden. Von inter-

mittierendem Transfer wird gesprochen, wenn die Montageteile senkrecht zur Flußrichtung in den Arbeitsbereich der Mitarbeiter geholt werden, von kontinuierlichem Transfer, wenn die Flußrichtung nicht verlassen wird.

Ein Fall des manuellen, intermittierenden Transferprinzips ist durch folgende Anordnung gegeben.

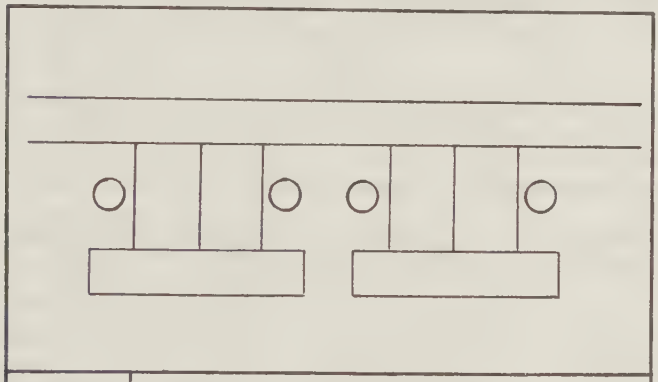


Abb. 23	Manuelles, intermittierendes Transferprinzip

Der Arbeitsablauf erfolgt analog dem im partiellen Umlaufsystem. Ein Unterschied besteht dann, wenn nicht alle Zweierblöcke besetzt sind, weil hier lediglich die Strecke bis zum nächsten Block als Puffer zur Verfügung steht. Sind weniger Personen als Stationen vorhanden, müssen häufigere Platzwechsel erfolgen als beim partiellen Umlaufprinzip. Die sonstigen Eigenschaften dieses Systems sind mit denen des partiellen Umlaufs identisch. Die Investitionsaufwendungen sind um die Kosten des (angetriebenen) Rücklaufbandes niedriger.

Die folgende "Blockanordnung" stellt ebenfalls einen manuellen, kontinuierlichen Transfer dar.

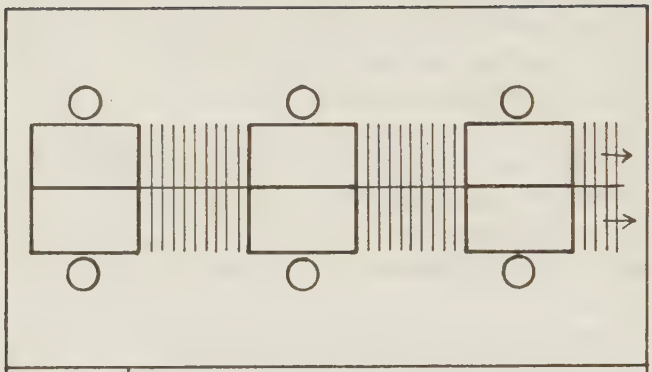


Abb. 24 Blockanordnung

Zwischen den Arbeitstischen werden Schiebeflächen als Puffer angelegt. Die Montageteile werden aus einem Puffer direkt in den Arbeitsbereich geschoben und nach der Bearbeitung am anderen Tischende an den nächsten Puffer abgegeben. Die in der Abb. 25 dargestellte, gegenüberliegende Anordnung von jeweils zwei Arbeitsplätzen bringt Kommunikationsmöglichkeiten, ist aber nur möglich, wenn entweder Paralleleinrichtungen spiegelbildlich angeordnet werden oder die Hauptflußrichtung nach der halben Stationenzahl umgekehrt wird.

Da nicht immer vom Vorhandensein von Paralleleinrichtungen ausgegangen werden kann, soll hier jeweils die Umkehrung der Flußrichtung angenommen werden. Die Anordnung sieht dann wie folgt aus:

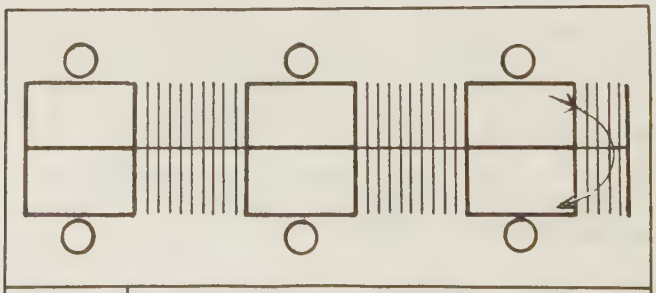


Abb. 25 Blockanordnung mit Umkehr d. Flußr.

Wird ein Blickkontakt mit den Kollegen durch hohe Platzaufbauten (Vorratsbehälter, Maschinen o.ä.) verhindert, ist auch eine versetzte Anordnung der Arbeitsplätze denkbar.

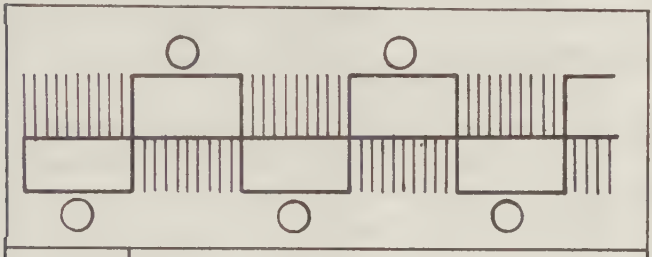


Abb. 26 Versetzte Blockanordnung

Grundsätzliche Unterschiede zum oben beschriebenen System entstehen hierdurch nicht, so daß bei der Realisierung dieser oder jener Anordnung ausschließlich die spezifischen Verhältnisse entscheidend sind.
Die großen Puffer machen auch dieses System flexibel. Der Ausfall von Arbeitskräften kann durch Platzwechsel ausgeglichen werden, Stückzahlschwankungen nach unten durch Umsetzung einiger Personen an andere Fertigungseinrichtungen des Unternehmens. Eine genaue Abstimmung der Arbeitsinhalte ist, wegen der Puffer und der Vornahme von Platzwechseln, unnötig. Die Mitarbeiter können allmählich an allen Arbeitsplätzen angelernt werden und erbringen bereits während der Einarbeitung Leistung.

Im folgenden Prinzip erfolgt der Materialtransport ebenfalls manuell. Es ist jedoch, im Unterschied zu den bisher behandelten Systemen, dann sinnvoll, wenn so viele Vorrichtungen und/oder Werkzeuge pro Station notwendig sind, daß die Unterbringung auf einem Arbeitstisch nicht möglich ist oder zu viele Kosten verursacht.

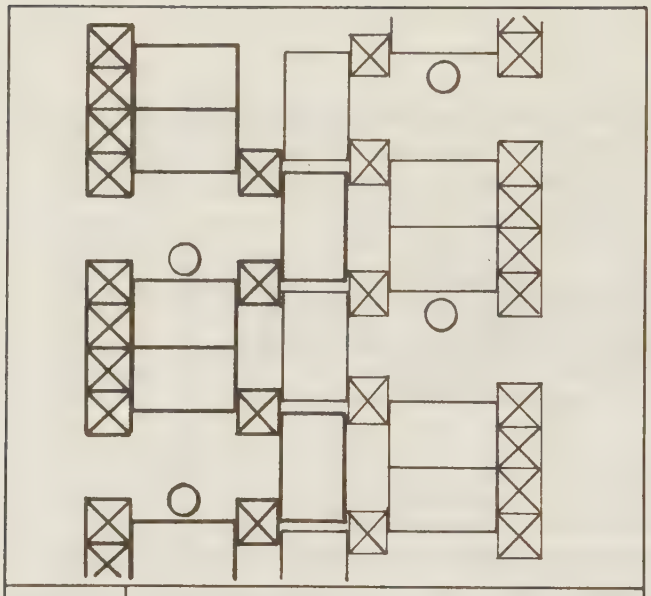


Abb. 27 Raumsparlösung

Jede "Station" besteht hier aus drei Arbeitstischen, an denen eine Person arbeitet. Die Montageteile sind in Transportwagen untergebracht, werden in jeder Station an allen drei Tischen bearbeitet und danach an den Puffer abgegeben. Ist auch die folgende Station besetzt, so übernimmt die nächste Arbeitskraft die Weiterbearbeitung. Ist das nicht der Fall, erfolgen Platzwechsel, sobald der Puffer vor einer unbesetzten Station gefüllt oder der Puffer vor einer besetzten Station leer ist.

Dieses System belegt unter Berücksichtigung der großen Zahl von Arbeitstischen wenig Raum. Da an drei Tischen jeweils eine Person arbeitet, muß der sonst vorgeschriebene Mindestbewegungsraum nicht eingehalten werden. Die Anordnungsvariante wird deshalb als Raumsparlösung bezeichnet.

Sie bietet sich an, wenn z.B. in der Auslaufphase eines Produktes die Verringerung der Stückzahlen an der herkömmlichen

Montageeinrichtung (z.B. Fließband), die für hohe Ausbringungsmengen konzipiert war, nur noch durch geringe zeitliche Nutzung möglich wäre und/oder die belegte Fläche für andere Produkte benötigt wird. Auch wenn allgemein kleine Gruppen gebildet werden sollen und ein Arbeitstisch je Person nicht ausreicht, kann diese Anordnung interessant sein.

Die Kommunikationsmöglichkeiten sind bei der Raumsparlösung eingeschränkt. Selbständiges, unabhängiges Arbeiten des Einzelnen ist infolge der Puffer möglich. Die Flexibilität des Systems ist groß, da Stückzahl- und Personenzahlverminderungen keine Beeinträchtigung darstellen und sogar Stückzahlerhöhungen durch kurzfristige Besetzung einzelner Stationen mit mehreren Personen bewältigt werden können.

Die "gleitende Abtaktung" gehört ebenfalls zur Kategorie des manuellen, kontinuierlichen Transfers.

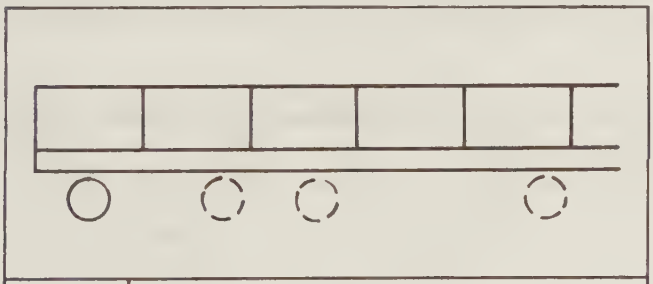


Abb. 28 Gleitende Abtaktung

Hier werden alle Vorrichtungen und Werkzeuge nach den Vorschriften der Vorrangbedingungen hintereinander aufgebaut. Eine Abgrenzung von Arbeitsplätzen erfolgt nicht. Die Anzahl der eingesetzten Arbeitskräfte ist in weiten Grenzen variabel, da sowohl eine Person, sich mit dem Montageteil fortbewegend, alle Arbeiten ausführen kann wie auch der Einsatz so vieler

Personen möglich ist, daß jede gerade die Arbeitsgänge an einer Stelle ausführt. Liegt die Personenzahl zwischen den beiden Extremen, so ergeben sich frei bestimmte Überschneidungen der Tätigkeiten benachbarter Personen. Sobald nämlich ein fertiges Werkstück abgegeben wird, übernimmt der letzte Mitarbeiter der Reihe das folgende Werkstück an beliebiger Stelle des Systems von seinem Vorgänger und setzt die Bearbeitung fort. Dieser Übergabemodus gilt, bis der erste Mitarbeiter des Systems erreicht ist.

Diese völlige Variabilität der Arbeitsverteilung auf die Mitarbeiter gleicht Schwankungen in der Leistungsfähigkeit Einzelner (temporär oder dauernd) vollkommen aus. Wartezeiten oder Abstimmungsverluste können nicht auftreten. Auf Stück- und Personenzahlschwankungen kann völlig flexibel reagiert werden. Der Raumbedarf ist wegen der Auflösung von "Arbeitsplätzen" zugunsten einer lückenlosen Folge von Vorrichtungen relativ gering, da keine Leerräume oder Pufferflächen benötigt werden.

Bei einer Mechanisierung des Transfers ist folgender kontinuierlicher Ablauf denkbar:

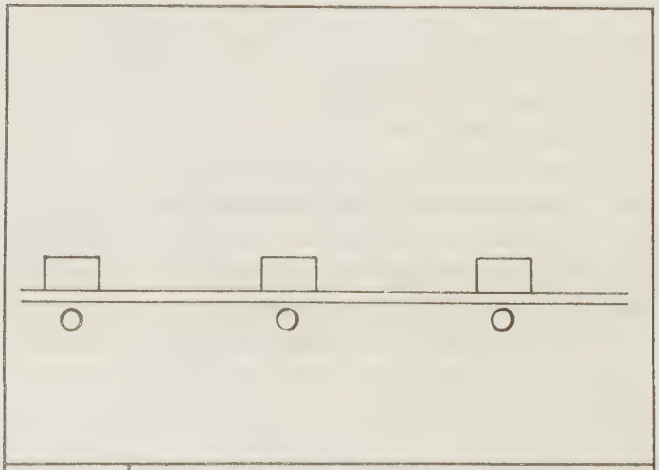


Abb. 29 Mechanisierter kontinuierlicher Transf

Die Arbeitsplätze sind an einem Schoßband angeordnet und so weit auseinandergezogen, daß Puffer zwischen den Stationen entstehen. An Stelle der Pufferung auf dem Transportsystem kann auch ein Hochpuffer eingerichtet und damit Raum gespart werden.

Die Kommunikationsmöglichkeiten sind hier gering. Die Einrichtung großer Puffer ist wegen der Mechanisierung relativ teuer.
Sind genügend große Puffer vorhanden, so ist auch die flexible Reaktion auf Stückzahlschwankungen und Personalausfall möglich, da dann Platzwechsel vorgenommen werden können.

Die eingeschränkten Kommunikationsmöglichkeiten dieser Organisationsalternative können bei sonst gleichen Bedingungen durch einen intermittierenden Materialfluß aufgehoben werden.

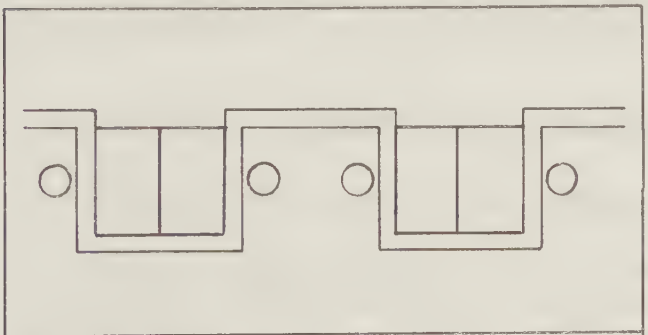


Abb. 30	Mechanisierter, intermittierender Transfer

Für diese Anordnung treffen im wesentlichen die gleichen Gesichtspunkte zu wie beim manuellen, intermittierenden Transfer. Lediglich die Investitionskosten liegen höher, da das angetriebene Transportsystem wegen vieler Umlenkungen aufwendig ist.

3.1.2. Nebenbedingungen

Wie jedes Planungsproblem ist auch die Planung von Montagealternativen einigen Beschränkungen unterworfen, die sich hauptsächlich auf Ober- oder Untergrenzen der Entscheidungsvariablen beziehen.

3.1.2.1. Stückzahlerfüllung

Die wichtigste Nebenbedingung ist mit der Stückzahlvorgabe festgelegt. Wie oben dargelegt, wird jedoch keine bestimmte, genau einzuhaltende Stückzahl angegeben, sondern der Unsicherheit, die mit dieser Prognose verbunden ist, dadurch Rechnung getragen, daß Über- bzw. Unterfüllung toleriert wird. Das Ausmaß der maximal zulässigen Abweichung braucht nicht explizit angegeben zu werden, da die Rechenvorschriften zur Festlegung der eingesetzten Personenzahl große Abweichungen nicht erlauben.

3.1.2.2. Flächenbedarf

Bei gegebenen räumlichen Verhältnissen können Alternativen unzulässig sein,

- wenn die verfügbare Freifläche nicht ausreicht oder
- wenn die Form der Freifläche eine Anordnung nicht zuläßt.

In der Praxis ist oft die Breite der verfügbaren Fläche begrenzt, da die bisherige Anordnung von Fließbändern lange, schmale Räume erforderte, in die eine neu zu planende Einrichtung integriert werden muß.

Es wird deshalb gefordert, daß:

belegte Fläche $\leq$ verfügbare Fläche

und

benötigte Breite $\leq$ verfügbare Breite

3.1.2.3. Stationenzahl

Eine weitere Begrenzung bezieht sich auf die Stationenzahl je Montageeinrichtung. In Abhängigkeit von der gewählten Organisationsform ist eine Beschränkung der Stationenzahl nach oben und unten sinnvoll.

Bei den Systemen, die zu einer sozialen Integration der Mitarbeiter in einer Gruppe führen sollen, muß die Personenzahl überschaubar bleiben. Erfahrungen in der Praxis zeigen, daß Gruppengrößen von 4 - 12 Personen ideal sind (vgl. auch RÜHL, G. 1973, S. 182). Es wird deshalb gefordert, daß die Stationenzahl in diesen Fällen eine anzugebende Obergrenze nicht überschreiten darf.
Zur Erzeugung von Linienmontagealternativen wird eine Obergrenze nicht angegeben.
Als Mindestzahl werden vier Stationen angenommen (vgl. oben S. 61 ; Berechnung von Paralleleinrichtungen).

3.1.3. EDV-unterstützte Alternativenerzeugung

Die im Punkt 3.1.1.2.2. vorgestellten Grundlösungen für verschiedene Anordnungsformen der Montage dienen als Grundlage für die im folgenden beschriebene EDV-unterstützte Alternativenermittlung. Ziel ist es, aufgrund der Informationen, die in der hier betrachteten Grobplanungsphase verfügbar sind, dem Entscheidungsträger möglichst viele zulässige Organisationsformen aufzuzeigen.

3.1.3.1. Programmbeschreibung

Das Programm ALTW benötigt für die Ermittlung der Montageorganisationsformen die Angabe von Stückzahlen, verfügba-

ren Montagezeiten und des gesamten Arbeitsinhalts pro Erzeugnis. Um das Programm auch dann sinnvoll anwenden zu können, wenn eine der Grundformen nicht erwünscht oder aufgrund technischer Gegebenheiten nicht möglich ist, kann die Erzeugung von Komplettmontagevarianten, strukturierten Arbeitssystemen und/oder Linienmontagealternativen übersprungen werden.

Im normalen Programmablauf sind die Berechnung des Flächenbedarfs und die "graphische Darstellung" der Alternativen vorgesehen. Es ist ebenfalls möglich, einen dieser Programmteile (oder beide) zu überspringen (Grobablauf des Programms vgl. Abb. 31).

3.1.3.1.1. Daten

Standardangaben, die immer vorhanden sein müssen, sind die gesamte Bearbeitungszeit (TBEARB), die Stückzahl (STUECK), die in diesem Zeitraum erreicht werden soll, und der gesamte Arbeitsinhalt pro Erzeugnis (SUTI). Den Konventionen der Praxis folgend, wird als Arbeitsinhalt der Zeitbedarf für 100 Stück angegeben und im Programmablauf entsprechend berücksichtigt.

Zwingend ist auch die Eingabe von Kennzeichen, ob Komplettmontage, Zwischenformen und Linienmontage zugelassen sind und ob Flächenberechnung und graphische Darstellung erfolgen sollen.
Ist die Komplettmontage zugelassen, werden die erforderlichen Behälter, die Greifhöhe und die Teilezahl des Erzeugnisses (vgl. oben 3.1.1.1.1.) eingelesen.

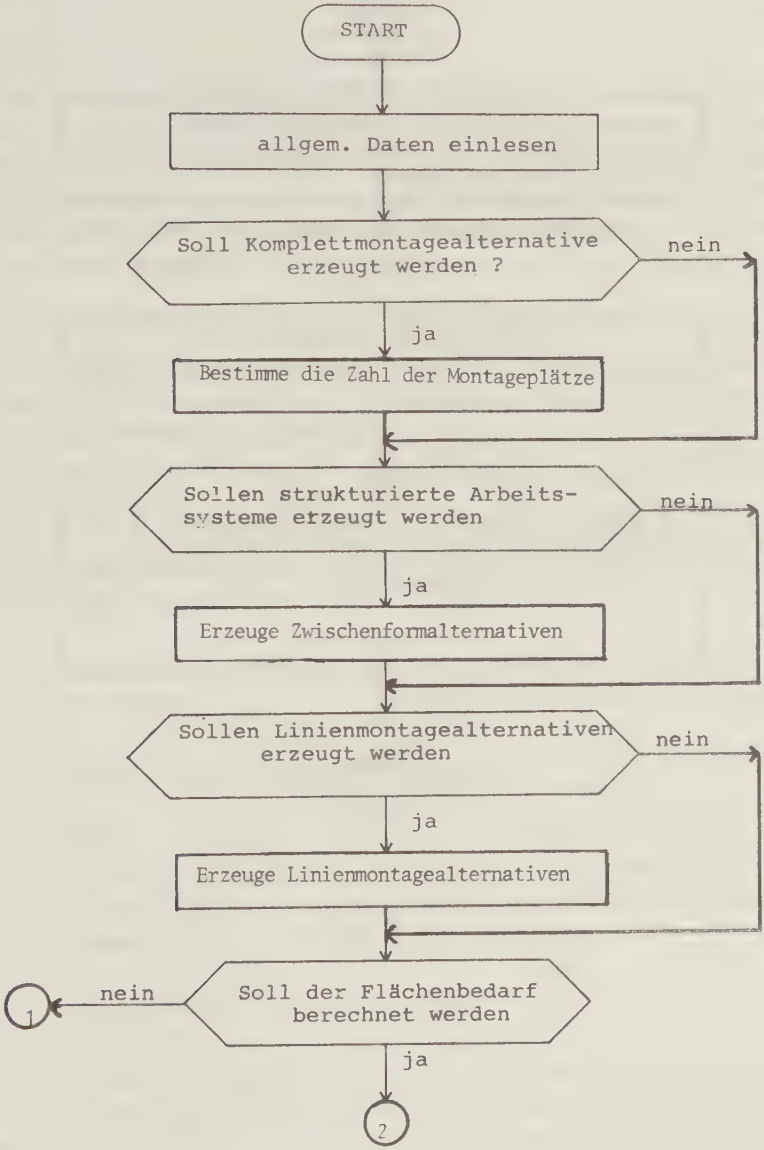


Abb. 31 Flußdiagramm Programm ALTW (Grobablauf)

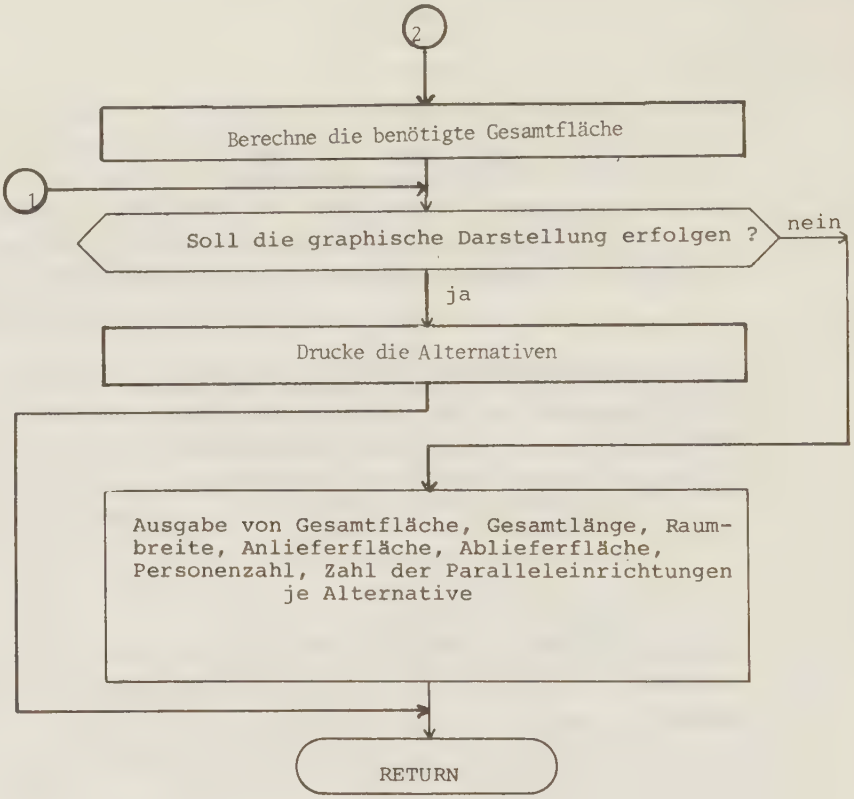


Abb. 31 (Fortsetzung) Flußdiagramm Programm ALTW (Grobablauf)

Falls erforderlich, kann für die Berechnung der Zwischenformalternativen die Obergrenze der Stationen je Gruppe angegeben werden. Für die Ermittlung der Linienmontagevarianten werden Werte für Taktverlustunter- und -obergrenze angegeben und festgelegt, ob die Schoßband- oder Skelettbandanordnung gewählt werden soll.

Wird die Flächenberechnung gewünscht, kann gewählt werden, ob vom Programm Standardabmessungen, die aus den MTM-Normen abgeleitet sind, oder spezielle Werte für Breite und Länge von Systembausteinen (meist eine Station mit Transporteinrichtung und Pufferanteil) oder Größe der An- und Ablieferfläche eingesetzt werden sollen.
Die Angaben zur Drucksteuerung bestimmen, ob die Alternativen aller Anordnungsmöglichkeiten oder nur die bestimmter Grundprinzipien ausgedruckt werden.

Alle eingegebenen Daten werden in einem Kontrollausdruck zusammengefaßt.

3.1.3.1.2. Komplettmontagealternative

Die Zahl der notwendigen Komplettmontageplätze wird bestimmt, wie in Abschnitt 3.1.1.1. angegeben. Die erforderliche Stationengröße schlägt sich nieder in einem Zuschlag (SSA) zur Planvorgabezeit (vgl. Abschnitt 3.1.1.1.1.).

3.1.3.1.3. Zwischenformalternativen

Die Erzeugung strukturierter Arbeitssysteme kann trotz unterschiedlicher räumlicher Anordnung auf wenige Fälle beschränkt werden. Unterschiede ergeben sich erst bei der graphischen Darstellung.

Umlaufanordnungen

Die Zahl der Umlaufanordnungen wird auf folgende Varianten beschränkt, die den Forderungen nach Bildung kleiner Gruppen und Unabhängigkeit der einzelnen Arbeitskräfte voneinander gerecht werden:

- Umlauf aus 4 Arbeitstischen besetzt mit 1 Person (NUML 1)
- Umlauf aus 4 Arbeitstischen besetzt mit 2 Personen (NUML 2)
- Umlauf aus 6 Arbeitstischen besetzt mit 3 Personen (NUML 3)

Die Zahl der erforderlichen Paralleleinrichtungen ergibt sich aus der berechneten Personenzahl

NUML 1 = Personenzahl

NUML 2 = entier $\frac{\text{Personenzahl}}{2}$

NUML 3 = entier $\frac{\text{Personenzahl}}{3}$

Sonstige Zwischenformanordnungen

Für das partielle Umlaufsystem und alle weiteren Anordnungsformen gelten gleiche Rechenvorschriften.

Zunächst wird geprüft, ob die Zusammenfassung aller Stationen (Berechnung vgl. Abschnitt 3.1.1.1.) zu einem System im vorgegebenen Rahmen von mehr als vier und weniger als MGR (meist 12) Stationen liegt. Falls das zutrifft, liegt eine Alternative fest. Falls nicht, wird die Stationenzahl, nach den in Abschnitt 3.1.1.2.1. angegebenen Vorschriften, auf Paralleleinrichtungen verteilt. Die Ermittlung von Paralleleinrichtungen erfolgt auch, wenn bereits die erste Alternative zulässig ist; so lange, bis, bei der Festlegung weiterer Paralleleinrichtungen, je Einheit weniger als vier Stationen auftreten würden.

3.1.3.1.4. Linienmontagealternativen

Für Linienmontagealternativen gilt die Untergrenze von vier Stationen je Anordnung. Eine Obergrenze ist nicht vorgesehen.
Auch hier werden zunächst alle Stationen zu einem System zusammengefaßt und anschließend so lange Paralleleinrichtungen erzeugt, bis die Stationenzahl je Einheit gerade noch vier ist.

Allerdings müssen hier auch Abstimmungsverluste berücksichtigt werden. Wie oben beschrieben (vgl. Abschnitt 3.1.1.1., S. 57), wird immer ein Taktverlust zwischen einer angegebenen Unter- und Obergrenze erwartet. Erreicht eine Alternative keinen Taktverlustwert in diesem Intervall, so scheidet sie aus der weiteren Betrachtung aus. (Rechenvorschrift für Taktverlustermittlung vgl. Abschnitt 3.1.1.1.)

3.1.3.1.5. Berechnung des Flächenbedarfs

Für alle Alternativen kann die Berechnung des Flächenbedarfs mit Hilfe von Standardabmessungen der einzelnen Arbeitsplätze oder über Angabe spezieller Maße für Länge und Breite der Arbeitsplätze und Puffer und der An- bzw. Ablieferflächen erfolgen.

Als Standardwerte wurden Vorschriften der MTM Normen verwendet:

- Größe des Arbeitstisches 100 x 60 cm
- Rückenfreiheit pro Mitarbeiter, beginnend an der Vorderkante des Arbeitstisches 80 cm

Je nach Wahl des Transportsystems wird folgende Breite angenommen:

-	Schoßband	20 cm
-	Rollenbahn oder ähnliche Transportmittel	60 cm

Die Länge ergibt sich aus der Anordnungsform. Bei Bedarf wird ein Zugang von 80 cm Breite vorgesehen. An- und Ablieferflächen sind, angepaßt an die Breite der belegten Fläche, für zwei bis drei Paletten ausgelegt.

Für unvermeidbare Lücken, die beim Aneinanderreihen der Tische entstehen, werden jeweils 10 cm angesetzt.

Soll mit anderen Größenverhältnissen gerechnet werden, so müssen alle Abmessungen eingelesen werden (vgl. oben: Eingabedaten).

Komplettmontage

Breite	140 cm	Anlieferfläche	2,4 qm
Länge	160 cm	Ablieferfläche	2,4 qm

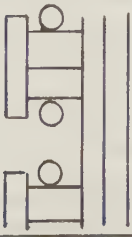
Umlaufanordnung

Breite

Breite	330 cm	Anlieferfläche	6,6 qm
Gesamtlänge (incl. Zugang)	410 cm	Ablieferfläche	4,0 qm

Breite	330 cm	Anlieferfläche	6,6 qm
Gesamtlänge	520 cm	Ablieferfläche	4,0 qm

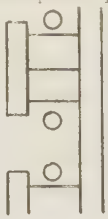
partielles Umlaufprinzip



Breite	300 cm	Anlieferfläche	7,9 qm
Länge pro Person	150 cm	Ablieferfläche	4,0 qm

Abb. 32 Standardabmessungen je Organisationsform

intermittierendes
Transferprinzip



Breite	240 cm	Anlieferfläche	9,0 qm
Länge pro Person	150 cm	Ablieferfläche	4,0 qm

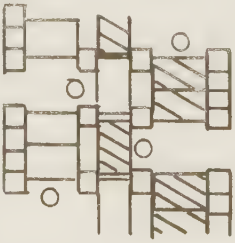
kontinuierliches
Transferprinzip
Blockanordnung

Breite	290 cm	Anlieferfläche	9,0 qm
Länge (2 Stationen)	100 cm	Ablieferfläche	4,0 qm
Pufferlänge	100 cm		

gleitende
Abtaktung

Breite	140 cm	Anlieferfläche	7,0 qm
Länge je "Station"	100 cm	Ablieferfläche	4,2 qm

Raumsparlösung



Breite	400 cm	Anlieferfläche	12,0 qm
Länge je Person	350 cm	Ablieferfläche	4,8 qm

Abb. 32 (Fortsetzung) Standardabmessungen je Organisationsform

mechanisierter, intermittierender Transfer

Breite	150 cm	Anlieferfläche	7,5 qm
Länge je Station	170 cm	Ablieferfläche	4,5 qm

mechanisierter kontinuierlicher Transfer

Breite	160 cm	Anlieferfläche	8,0 qm
Länge je Station	100 cm	Ablieferfläche	4,8 qm
Pufferlänge	200 cm		

Linienmontage

Schoßband

Breite	160 cm	Anlieferfläche	6,4 qm
Länge je Station	120 cm	Ablieferfläche	4,8 qm

Skelettband

Breite	130 cm	Anlieferfläche	6,5 qm
Länge je Station	140 cm	Ablieferfläche	3,9 qm

Abb. 32 (Fortsetzung) Standardabmessungen je Organisationsform

3.1.3.1.6. Graphische Darstellung

Nachdem alle, im Rahmen der Nebenbedingungen möglichen, Alternativen berechnet wurden, kann ihre Ausgabe über den Schnelldrucker erfolgen (dieser Programmteil kann übersprungen werden; vgl. oben Eingabedaten).

Der Ausdruck umfaßt, mit Ausnahme der Komplettmontagevariante, die Darstellung aller Stationen und die Angabe der belegten Fläche sowie der benötigten Raumlänge, sofern der vorhergehende Programmteil -Flächenberechnung- nicht übersprungen wurde. Für die Komplettmontagealternative werden nur eine Station ausgedruckt und die Gesamtzahl der benötigten Stationen angegeben, da eine beliebige Anordnung der Stationen realisiert werden kann.

Bei allen Anordnungsformen werden auch ungerade Stationenzahlen richtig ausgegeben (Ausgabebeispiele vgl. unten; Abschnitt 3.1.3.2.).

3.1.3.1.7. Verbale Darstellung der Ergebnisse

Wenn keine graphische Darstellung der Alternativen gewünscht wurde, erfolgt die Ausgabe der Ergebnisse rein verbal.

Angegeben werden:

- Personenzahl
- Zahl der Paralleleinrichtungen
- Flächenbedarf, falls dessen Berechnung erfolgte
- Abmessungen je Paralleleinrichtung.

Ein Beispiel eines derartigen Ausdruckes befindet sich in Tabelle 6.

PARTIELLE UMLAUFSYSTEME

ANORDNUNG MIT 11 PERSONEN
PARALLELEINRICHTUNGEN: 1

FLAECHENBEDARF: 60.20 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PARALLELEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 15.40 (METER)

MIN. RAUMBREITE : 3.00 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 10.00

FL. FUER ABLIEF.: 4.00

ANORDNUNG MIT 6 PERSONEN
PARALLELEINRICHTUNGEN: 2

FLAECHENBEDARF: 78.40 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PARALLELEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 8.40 (METER)

MIN. RAUMBREITE : 3.00 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 10.00

FL. FUER ABLIEF.: 4.00

ANORDNUNG MIT 4 PERSONEN
PARALLELEINRICHTUNGEN: 3

FLAECHENBEDARF: 92.40 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PARALLELEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 5.60 (METER)

MIN. RAUMBREITE : 3.00 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 10.00

FL. FUER ABLIEF.: 4.00

Tab. 6	Ergebnisausdruck ohne graphische Darstellung

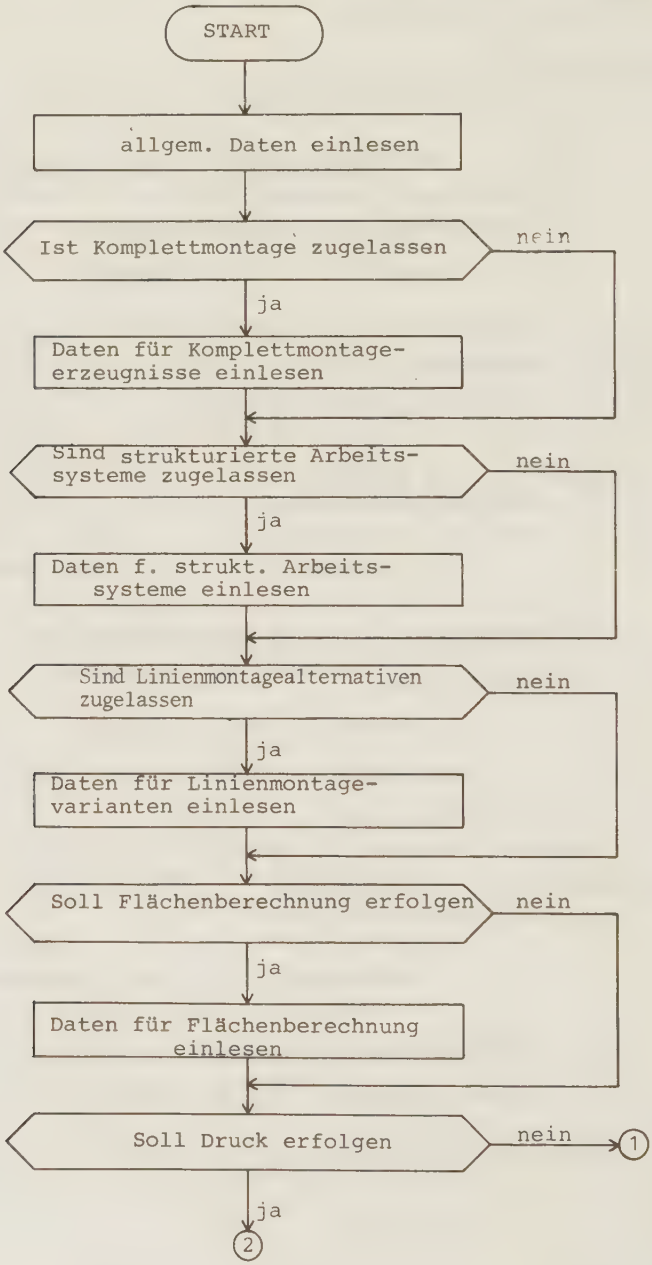


Abb. 33 Alternativerzeugung

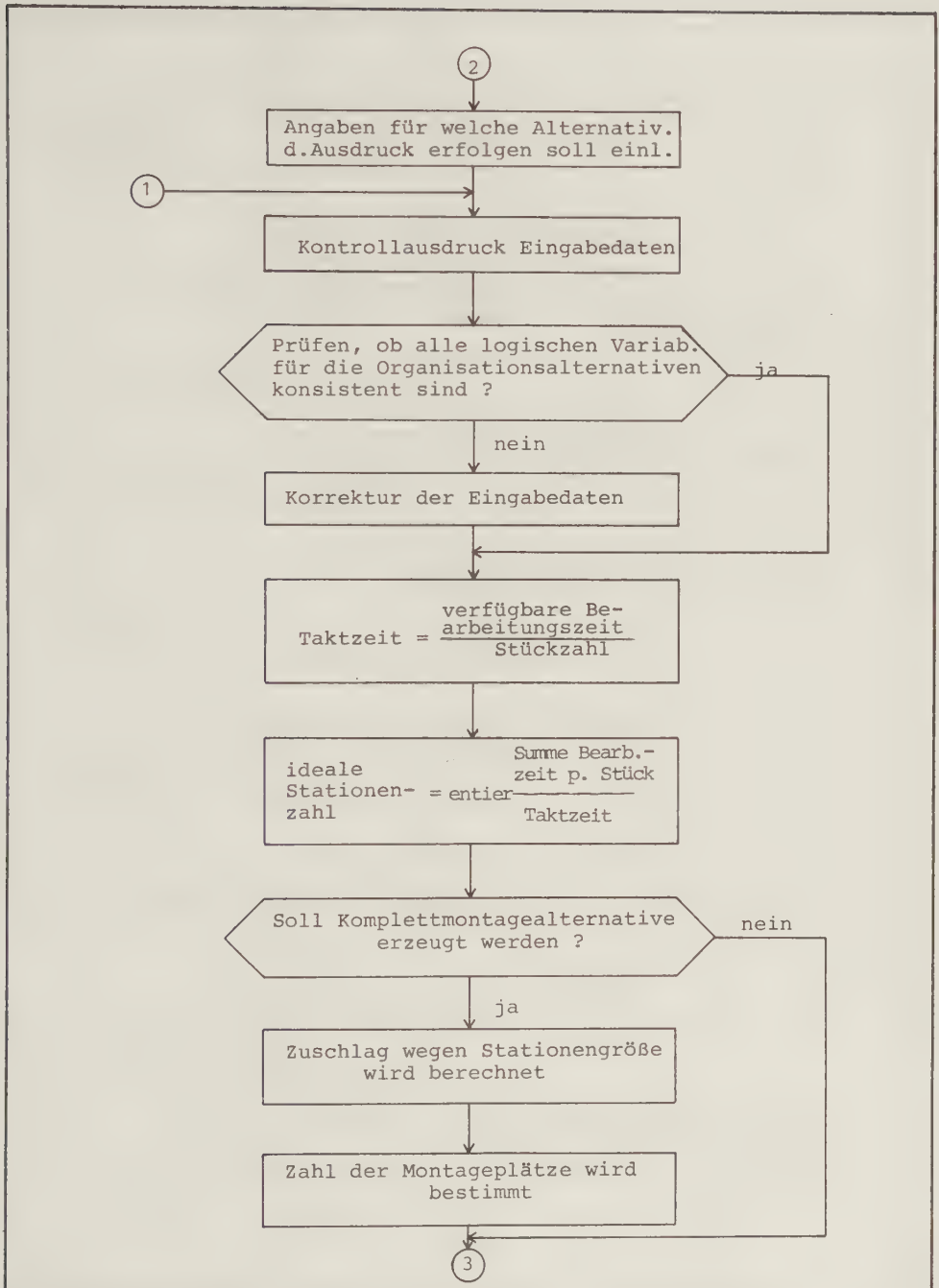


Abb. 33 (Fortsetzung) Alternativerzeugung

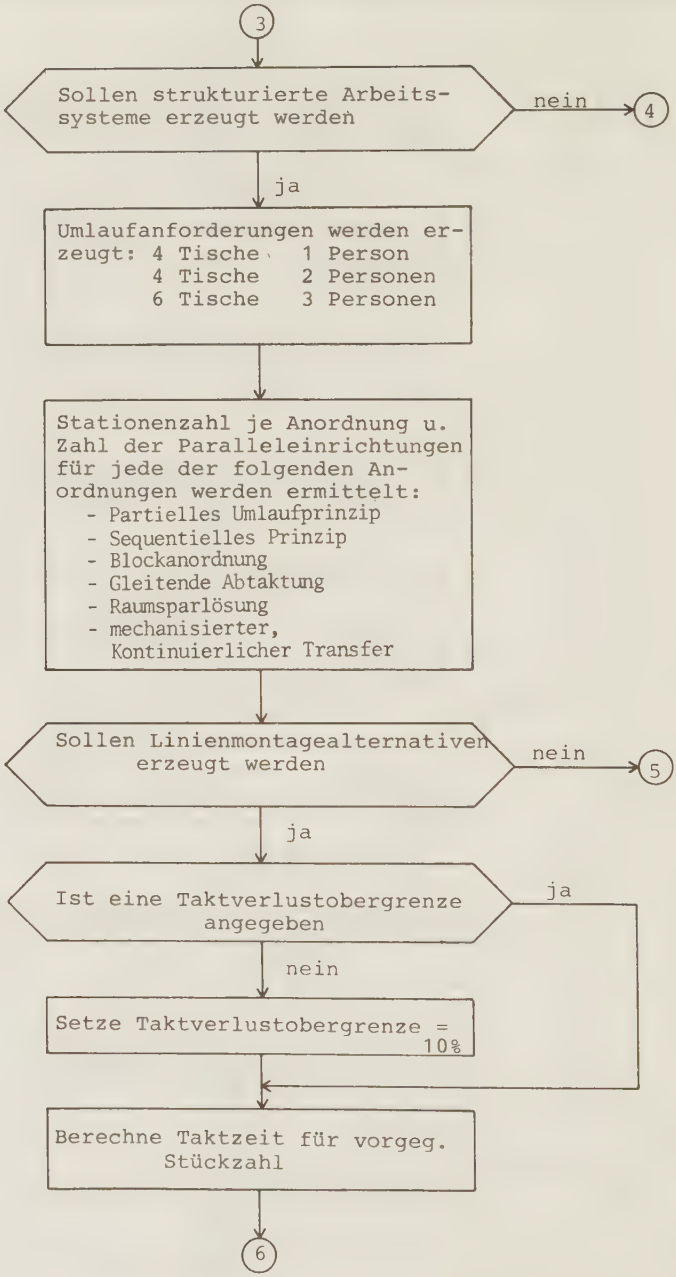


Abb. 33 (Fortsetzung)	Alternativerzeugung

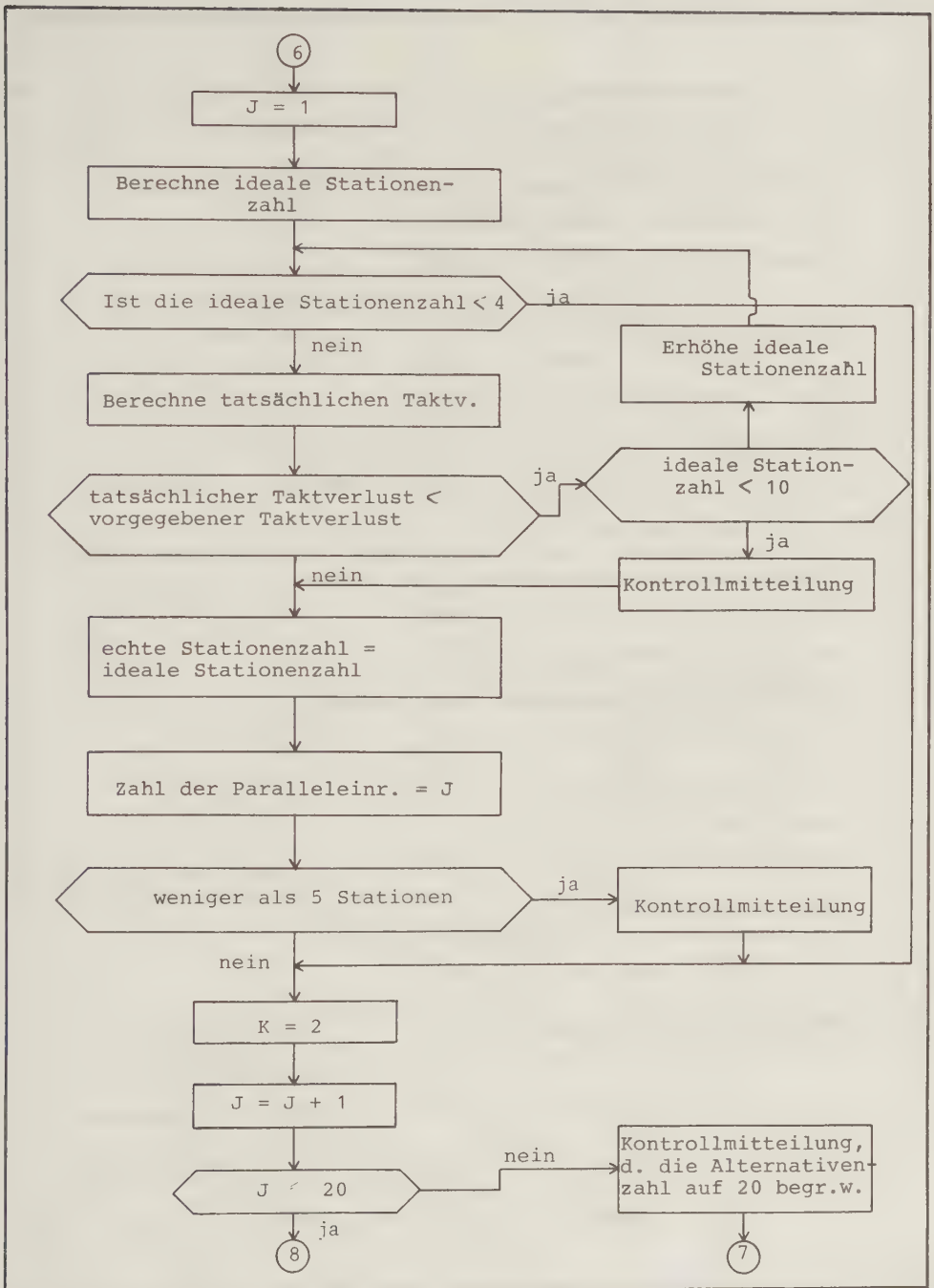


Abb. 33 (Fortsetzung) Alternativerzeugung

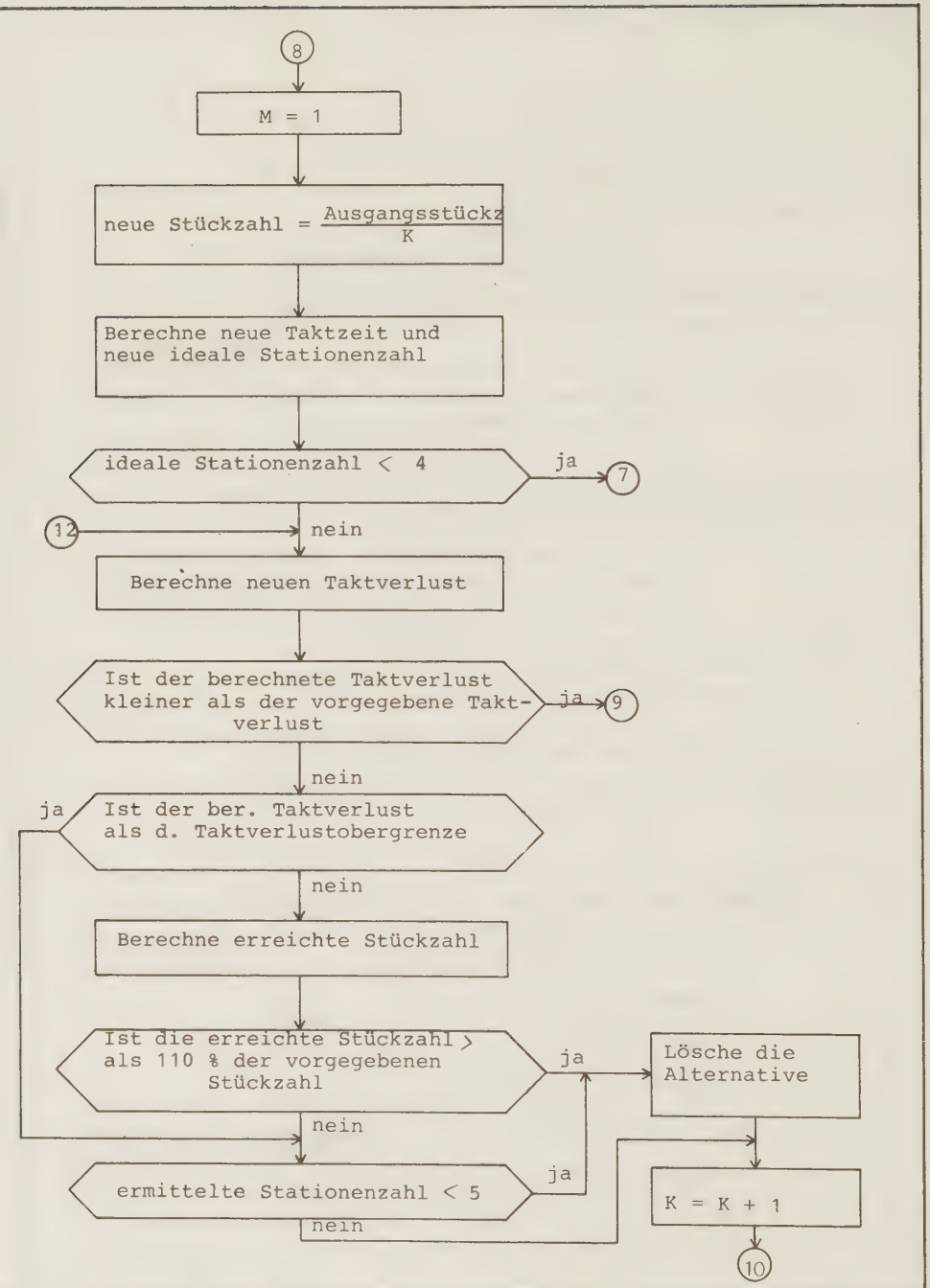


Abb. 33 (Fortsetzung) Alternativerzeugung

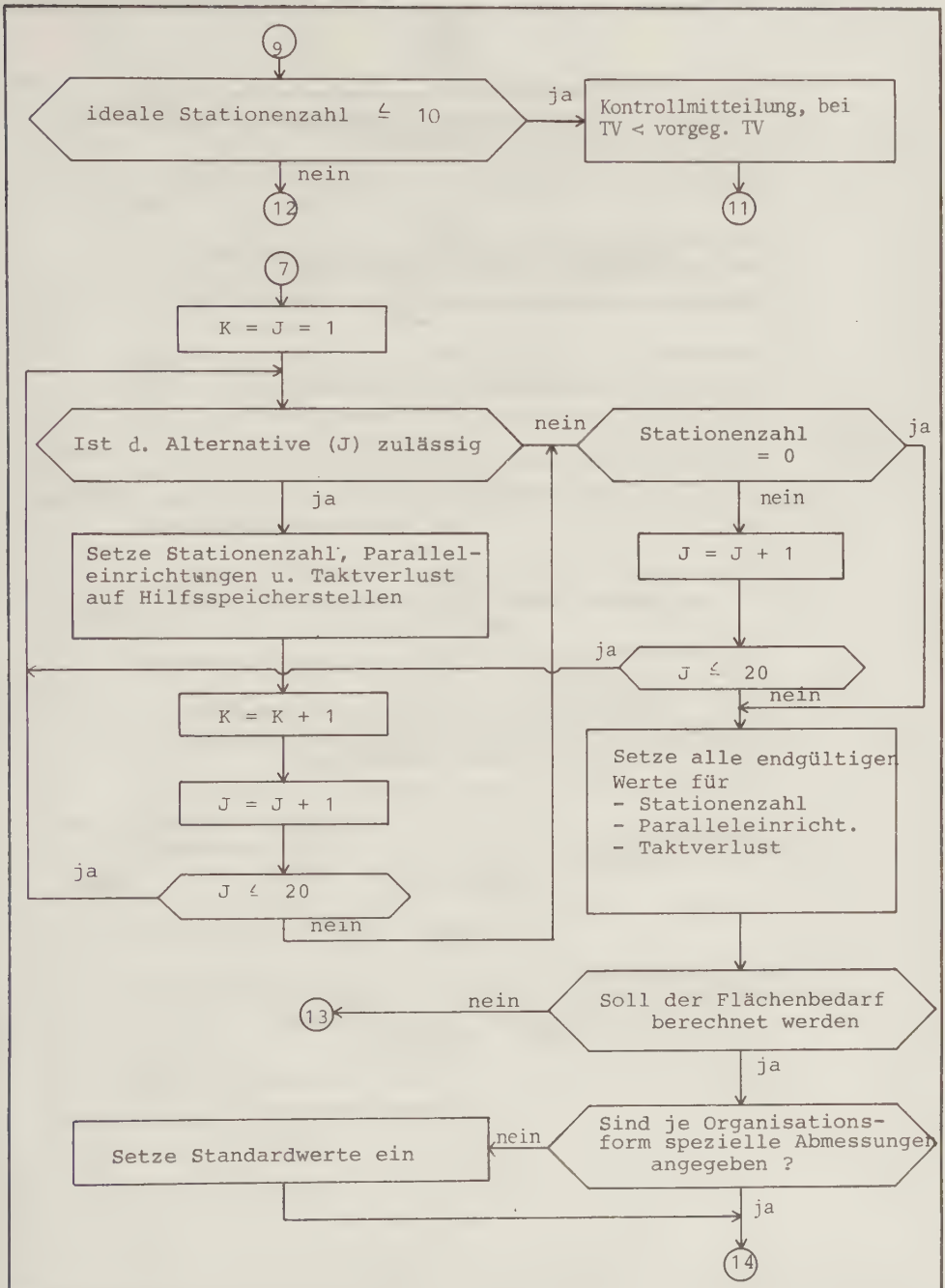


Abb. 33 (Fortsetzung) Alternativerzeugung

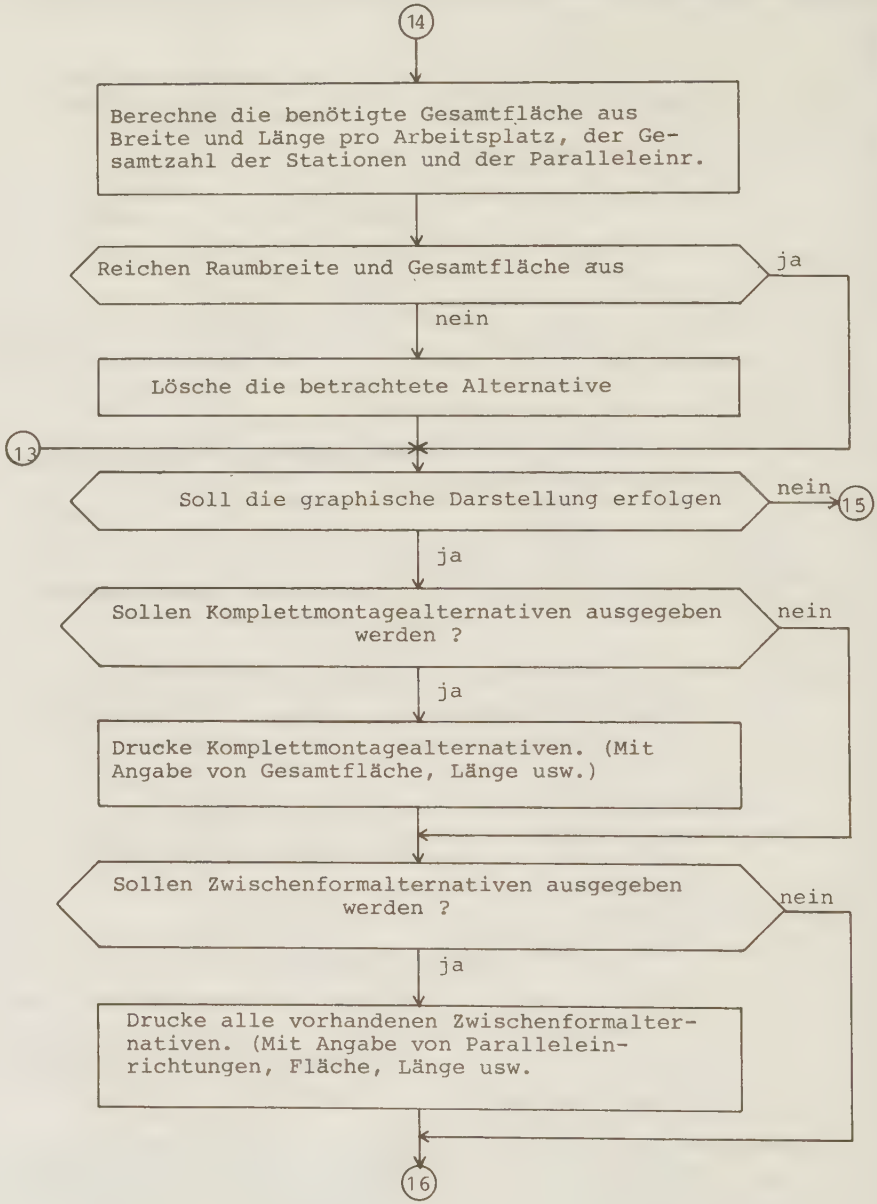


Abb. 33 (Fortsetzung)	Alternativerzeugung

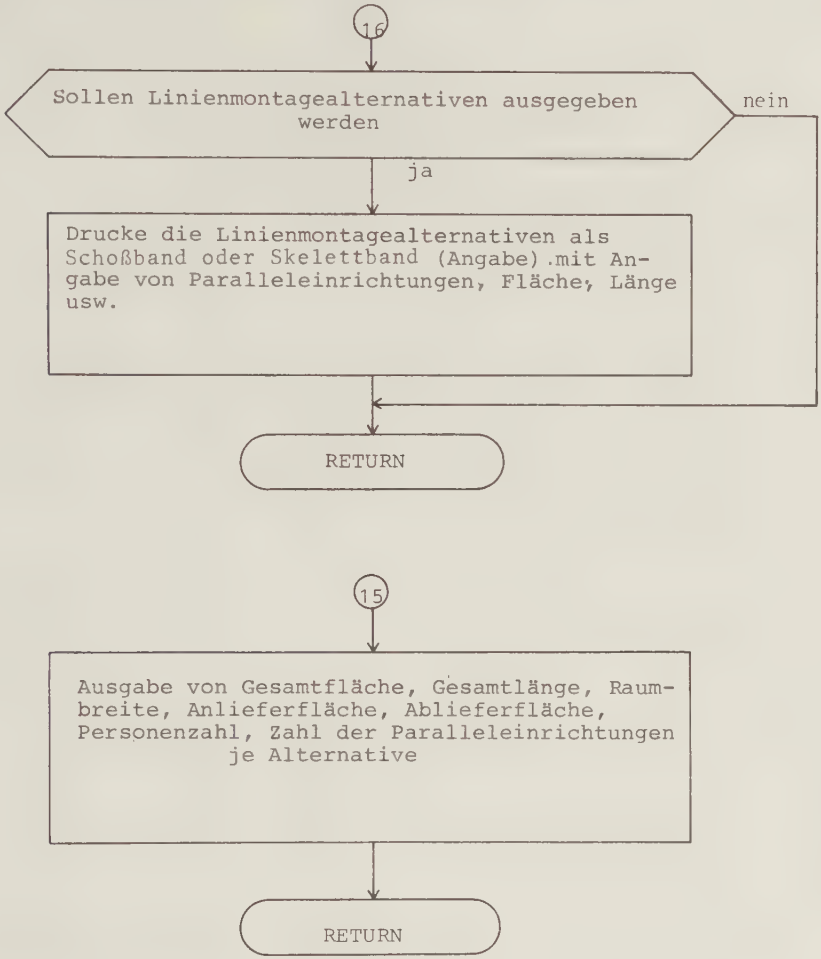
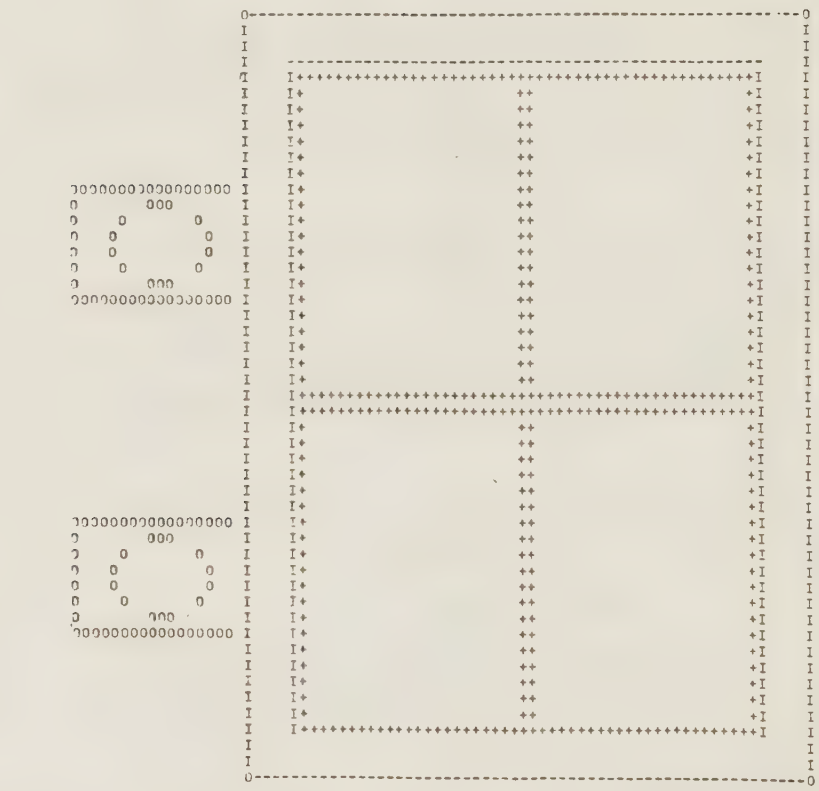


Abb. 33 (Fortsetzung) Alternativerzeugung

3.1.3.2. Ergebnisbeispiele

UMLAUFANORDNUNG

DIE FOLGENDE ANORDNUNG IST 11 MAL ERFORDERLICH



UM DIE VORGEGEBENE STUECKZAHL ZU ERREICHEN,
MUSS DAS UMLAUFSYSTEM MIT EINER PERSON BESETZT SEIN.

FLAECHENBEDARF: 265.43 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN DE PARALLELEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 4.10 (METER)

MIN. RAUMBREITE : 3.30 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 5.50

FL. FUER ABLIEF.: 4.00

UMLAUFANORDNUNG

DIE FOLGENDE ANORDNUNG IST 4 MAL ERFORDERLICH

FLAECHENBEDARF: 111.04 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PARALLELEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 5.20 (METER)

MIN. RAUMBREITE : 3.30 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 6.60

FL. FUER ABLIEF.: 4.00

BLOCKANORDNUNG

DIE FOLGENDE ANORDNUNG IST 3 MAL ERFORDERLICH

```
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 ++++++++++++++++++++++++++
                 +           ++           +
                 +           ++           +
000000000        +           ++           + 000000000
0   00           +           ++           +    00   0
0 0    0         +           ++           +  0    0 0
00      0        +           ++           + 0      00
0 0    0         +           ++           +  0    0 0
0   00           +           ++           +    00   0
000000000        +           ++           + 000000000
                 +           ++           +
                 +           ++           +
                 ++++++++++++++++++++++++++
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPIIPPPPPPPPPPPI
                 ++++++++++++++++++++++++++
                 +           ++           +
                 +           ++           +
000000000        +           ++           + 000000000
0   00           +           ++           +    00   0
0 0    0         +           ++           +  0    0 0
00      0        +           ++           + 0      00
0 0    0         +           ++           +  0    0 0
0   00           +           ++           +    00   0
000000000        +           ++           + 000000000
                 +           ++           +
                 +           ++           +
                 ++++++++++++++++++++++++++
                 IPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPI
                 IPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPPI
                 --------------------------
```

FLAECHENBEDARF: 82.68 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN DE PARALLELEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 8.40 (METER)

MIN. RAUMBREITE : 2.30 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 5.00

FL. FUER ABLIEF.: 4.00

DIE FOLGENDE ANORDNUNG IST 3 MAL ERFORDERLICH

```
                                I  I
                                I  I
                                I  I
            0000000000          I  I
            0   00   0          I  I
            0  0  0  0          I  I
            0  0  0  0          I  I
            0   00   0          I  I
   -------------------------    I
   I                            I
   I  ++++++++++++++++++++++----
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  ++++++++++++++++++++
   I  ++++++++++++++++++++
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  ++++++++++++++++++++----
   I                            I
   -------------------------    I
            0   00   0          I  I
            0  0  0  0          I  I
            0  0  0  0          I  I
            0   00   0          I  I
            0000000000          I  I
                                I  I
                                I  I
                                I  I
                                I  I
                                I  I
                                I  I
            0000000000          I  I
            0   00   0          I  I
            0  0  0  0          I  I
            0  0  0  0          I  I
            0   00   0          I  I
   -------------------------    I
   I                            I
   I  ++++++++++++++++++++++----
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  ++++++++++++++++++++
   I  ++++++++++++++++++++
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  +                    +
   I  ++++++++++++++++++++++----
   I                            I
   -------------------------    I
            0   00   0          I  I
            0  0  0  0          I  I
            0  0  0  0          I  I
            0   00   0          I  I
            0000000000          I  I
                                I  I
                                I  I
                                I  I
```

FLAECHENBEDARF: 88.60 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PARALLELEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 6.30 (METER)

MIN. RAUMBREITE : 1.50 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 7.50

FL. FUER ABLIEF.: 4.50

3.2. Bewertungsverfahren

Nach Kenntnis der Alternativen muß entsprechend der Unternehmenszielsetzung die günstigste ausgewählt werden. Notwendig ist also ein Meßverfahren, mit dessen Hilfe die Vergleichbarkeit der Alternativen hergestellt wird.

Hier soll zunächst das Verfahren der Nutzwertanalyse vorgestellt werden, das eine Bewertung unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Zielkriterien und individueller Präferenzordnungen erlaubt.

3.2.1. Qualitative Bewertung

Wenn, wie oben (vgl. Abschnitt 1.2.) festgestellt wurde, ein einziges Zielkriterium (z.B. Kostenminimierung) nicht zur Entscheidungsfindung ausreicht, muß das adäquate Entscheidungsmodell die Bewertung mehrdimensionaler Zielsysteme zulassen.[1] Solche Verfahren "beruhen auf einem Modellansatz, der häufig auch als entscheidungstheoretischer Ansatz zur Lösung des Auswahlproblems bezeichnet wird," (ZANGEMEISTER, C.; 1971, S. 6), und sollen hier Nutzwertmodelle genannt werden. "Die Analyse einer Entscheidungssituation mit Hilfe eines Nutzwertmodells - im folgenden Nutzwertanalyse genannt - ist eine Planungsmethodik, die der systematischen Entscheidungsvorbereitung dient." (ZANGEMEISTER, C. 1971, S. 7).

Bei dem hier behandelten Problem sind verschiedene Gesichtspunkte zu berücksichtigen, deren Auswirkung auf die "Güte" einer Organisationsform nicht objektiv feststellbar, zumindest nicht objektiv bekannt sind. Zur Bewertung dieser Kri-

---

1) Z.B. stellt ALLGAIER, R. (1976) zum Optimierungsproblem mit Mehrfachzielsetzungen verschiedene Lösungsansätze mit Hilfe der linearen und der parametrischen Programmierung vor. Er behandelt jedoch ausschließlich deterministische Zielfunktionen. Deshalb soll auf diese Methoden nicht näher eingegangen werden.

terien müssen also individuelle Vorstellungen und Informationen herangezogen werden. Daneben existieren objektiv bewertbare Kriterien, die aber erst zusammen mit den nur subjektiv erfaßbaren Zielwerten die gewünschte Auswahlentscheidung erlauben. Da die Nutzwertanalyse diese Kombination möglich macht, wird sie hier als ein geeignetes Bewertungsverfahren behandelt.

Nach ZANGEMEISTER, C. (1971, S. 45) versteht man unter dem Nutzwert den "subjektiven, durch die Tauglichkeit zur Bedürfnisbefriedigung bestimmten Wert eines Gutes." "Nutzwertanalyse ist die Analyse einer Menge komplexer Handlungsalternativen mit dem Zweck, die Elemente dieser Menge entsprechend den Präferenzen des Entscheidungsträgers bezüglich eines multidimensionalen Zielsystems zu ordnen. Die Abbildung dieser Ordnung erfolgt durch die Angabe der Nutzwerte (Gesamtwerte) der Alternativen."

Die Lösung eines solchen Auswahlproblems ist kein Optimum im mathematischen Sinn, sondern lediglich auf die Präferenzordnung des Entscheidungsträgers bezogen. Da jedoch auch bei sog. objektiven Entscheidungen immer subjektiv begründete Abgrenzungen, z.B. bei Informationsauswahl und Informationsgewinnung wirksam werden, kann eine Entscheidung nie absolut objektiv zustande kommen (vgl. ZANGEMEISTER, C., 1971, S. 47 ff.).
Dies und die Tatsache, daß man sich bei der Nutzwertanalyse der Subjektivität stärker bewußt wird und deshalb eher zu einer vorsichtigen Abwägung bei annähernder Gleichwertigkeit mehrerer Alternativen kommt, läßt dieses Verfahren für die hier beschriebenen Entscheidungssituationen geeignet erscheinen.

Die Behandlung der Subjektivität wird außerdem dadurch verbessert, daß pro Zielkriterium und Alternative verschiedene Schätzungen über die Realisierung abgegeben werden können (vgl. unten S. 142).

Zur Durchführung des Auswahlprozesses sind im Rahmen der Nutzwertanalyse, nach Kenntnis der möglichen Alternativen, verschiedene Schritte erforderlich:

- Festlegung eines Zielsystems
- Gewichtung der Kriterien des Zielsystems
- Bewertung jedes Kriteriums unter Berücksichtigung von Ungewißheiten
- Verknüpfung der Einzelbewertungen zur Gesamtbewertung
- Auswahl der "optimalen" Alternative.

3.2.1.1. Zielsystem

Normalerweise ist das Globalziel eines Unternehmens allgemein formuliert und wenig operational. Die für Projektentscheidungen notwendige Operationalisierung erfordert das Herausarbeiten der problemrelevanten Größen und die Kenntnis von Beziehungen zwischen diesen Kriterien.

Die richtige Auswahl der Zielkriterien, deren Erfüllungsgrad im Rahmen des Modells optimiert werden soll, ist entscheidend für die Qualität der zu treffenden Entscheidungen. "Wichtiger als die Auswahl des richtigen Systems (Projekts) ist es, zunächst die richtigen Ziele zu bestimmen. Denn wählt man falsche Ziele, dann löst man eine irrelevante Problemstellung; wählt man dagegen ein falsches System (auf der Basis richtiger

Ziele) so wählt man letztlich nur ein nicht optimales System." (HALL, A.D., 1962, S. 105).[1)]

3.2.1.1.1 Definition Zielsystem

Da verschiedene Einzelziele in ihrem Zusammenwirken den Erfüllungsgrad des Gesamtziels determinieren, spricht man bei Betrachtung dieser Zielgesamtheit von einem Zielsystem.

ZANGEMEISTER, C. (1971, S. 89) definiert das Zielsystem einer Organisation als "... geordnete Menge aller handlungsbestimmenden Ziele, die bei der Ableitung einer rationalen Entscheidungsempfehlung zu berücksichtigen sind."

3.2.1.1.2 Bedeutung eines Zielsystems

Die Bedeutung eines Zielsystems kommt damit zum Ausdruck. Sie kann unter einem theoretischen und einem praktischen Aspekt dargestellt werden. Nach HEINEN, E. (1966, S. 51) stellen die verfolgten Ziele (also das Zielsystem) die "imperativischen Prämissen" dar, die von einem Entscheidungsmodell verlangt werden."Sie sind als generelle Imperative aufzufassen. Darunter werden hier solche Imperative verstanden, die nicht unmittelbar in eine Handlung übertragen werden können." (HEINEN, E., 1966, S. 51). Singuläre Imperative, also "konkrete Handlungsempfehlungen auf der Basis einer modelltypischen Entscheidungslogik" (ZANGEMEISTER, C., 1971, S. 91) können hieraus abgeleitet werden.

Die praktische Bedeutung eines Zielsystems bezieht sich auf

---

1) Zitiert nach ZANGEMEISTER, C. (1971, S. 89)

die Zielelemente selbst. "Diese müssen einerseits eine möglichst eindeutige und objektive Beschreibung von Konsequenzen oder Alternativen erlauben, auf der anderen Seite aber auch alle relevanten Wertdimensionen des Entscheidungsträgers umfassen." (ZANGEMEISTER, C., 1971, S. 93)

3.2.1.1.3 Anforderungen an ein Zielsystem

Die große Bedeutung des Zielsystems für den Prozeß der Entscheidungsfindung bedingt eine sorgfältige Analyse der Anforderungen, die an ein Zielsystem gestellt werden müssen.

Neben der vollständigen Erfassung der (für die gegebene Problemstellung) wichtigen Einflußgrößen muß für eine eindeutige Gesamtbewertung sichergestellt sein, daß innerhalb einer Alternative die Bewertung aller Zielkriterien unabhängig voneinander erfolgen kann.

Die Annahme vollkommener Nutzenunabhängigkeit ist allerdings in der Praxis unrealistisch (vgl. ZANGEMEISTER, C., 1971, S. 78), da eine Alternative im Normalfall immer eine "irgendwie proportionierte Mischung von Zielerträgen" ist. ZANGEMEISTER, C. (1971, S. 79) fordert deshalb für die praktische Nutzwertanalyse nur eine "bedingte Nutzenunabhängigkeit." Sie ist gegeben, wenn einzelne "Zielerträge innerhalb bestimmter Sollgrenzen unabhängig voneinander bewertbar sind." [1)]

Die Nutzenunabhängigkeitsannahme erlaubt es, den Gesamtnutzen einer Alternative durch Addition der Teilnutzen je Zielkriterium zu ermitteln (vgl. ZANGEMEISTER, C. 1971, S. 83 und die dort angegebene Literatur).

---

1) Genauere Informationen zur entscheidungstheoretisch erforderlichen Behandlung von bedingter Nutzenunabhängigkeit vgl. ZANGEMEISTER, C., (1971, S. 79 ff.)

3.2.1.2. Aufstellung des Zielsystems zur Bewertung von Montageorganisationsalternativen

Das Problem bei Aufstellung eines Zielsystems liegt darin, aus der Vielfalt der dem Praktiker bekannten Beurteilungskriterien ein System aufzubauen, das den dargestellten Anforderungen genügt.

ZANGEMEISTER, C. (1971, S. 94 ff.) schlägt vor, die Vielzahl von Einzelzielsetzungen durch Untersuchung der technologischen und klassifikatorischen Zielbeziehungen in dem gewünschten System zu integrieren. Die technologischen Zielbeziehungen beschreiben die Beziehungen zwischen Zielen. Die klassifikatorischen Zielbeziehungen zeigen gemeinsame Ordnungsmerkmale zwischen den Elementen einer Zielmenge auf. Mit Hilfe dieser Beziehungen kann immer die hierarchische Struktur einer Zielmenge aufgezeigt werden. Die Prinzipdarstellung dieser hierarchischen Struktur zeigt Abb. 34.

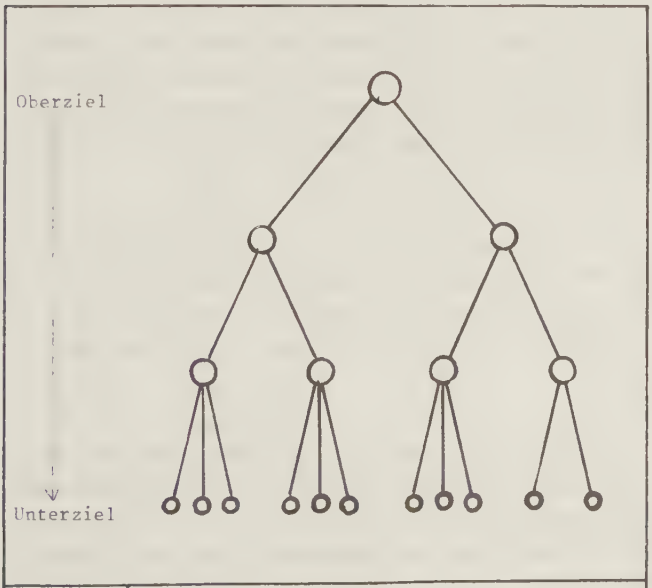


Abb. 34 Hierarchische Zielstruktur

Aus den Mittel-Zweck-Beziehungen zwischen Oberziel und Unterzielen folgt, daß ein Oberziel immer dann vollständig erfüllt ist, wenn alle direkt untergeordneten Unterziele erreicht wurden. D.h.: "die Bewertung einer Alternative in Bezug auf ein Oberziel braucht ... nur aufgrund der zugehörigen 'untersten' Unterziele vorgenommen zu werden." (ZANGEMEISTER, L., 1970, S. 21)

Vorteil dieser Möglichkeit, sich auf Endpunkte einer Zielkette konzentrieren zu können, ist deren größere Meßbarkeit im Vergleich zu den oft nur grob formulierten Leitsätzen, die am Anfang einer Zielkette stehen. Da die Endpunkte der Zielketten jeweils die "genaueste Formulierung einer angestrebten Projektwirkung" im Planungszeitpunkt darstellen, "... umfaßt die Gesamtheit der bewertungsrelevanten Zielkriterien die Menge aller derjenigen Ziele, die als Endpunkte von Zielketten des Zielbaumes festgesetzt worden sind." (ZANGEMEISTER, C., 1970, S. 21)

Zur Aufstellung eines konkreten Zielsystems empfiehlt ZANGEMEISTER zwischen strategischen und projektspezifischen Zielen zu unterscheiden. Das Zielsystem eines Unternehmens ist aus folgenden typischen Untersystemen aufgebaut:

1. Zielrahmen: alle allgemein auf die Organisationsfunktion bezogenen strategischen Ziele
2. Zielprogramm: (ein oder mehrere Untersysteme)
   Es enthält Ziele, die eine Erfüllung der Organisationsfunktion durch die Realisierung bestimmter Projekte gewährleisten.

Der Zielrahmen ist bei der Planung von Projekten wie im vorliegenden Fall als gegeben anzunehmen, da er auf die gesamte Organisation bezogen ist (Zuständigkeitsbereich der Geschäftsleitung). Organisationsrelevante Umwelteinflüsse und Organisationszweck sind bestimmende Faktoren. Der Zielrahmen umfaßt

noch keine Detailformulierungen und nur wenige Zielstufen (ZANGEMEISTER, C., 1971, S. 124).

Auf der Handlungsgrundlage, die durch den Zielrahmen gegeben ist, können nur die Ziele spezieller Zielprogramme detaillierter formuliert werden. 3 Phasen sind zu unterscheiden:

a) Definition allgemeiner Programmziele
b) Definition spezieller Programmziele
c) Definition von Projektzielen

Im Fall der Beurteilung von Montageorganisationen kann davon ausgegangen werden, daß allgemeine und spezielle Programmziele definiert sind, also lediglich die Projektziele genauer untersucht werden müssen.

Eine, in der Praxis zur Bewertung von Montageorganisationen entwickelte, Zielhierarchie ist in Abb. 35 dargestellt. Das Zielsystem wurde nur aus Elementen konstituiert, die sich bei den zur Auswahl stehenden Alternativen tatsächlich unterscheiden können. Nicht enthalten sind Kriterien wie Mechanisierungsgrad oder Materialkosten, da vorausgesetzt wurde, daß Unterschiede zwischen den Alternativen hierzu nicht bestehen.

Erläuterungen zu den Zielkriterien

3.2.1.2.1 Quantifizierbare Kriterien

3.2.1.2.1.1 Investitionen

Die Investitionen setzen sich zusammen aus einem konstanten Anteil für die aufgrund des gegebenen Mechanisierungsgrades erforderlichen Einrichtungen und aus einem variablen Anteil, der von der Zahl der Arbeitsplätze je Einheit abhängt. Paralleleinrichtungen erhöhen die Investitionsaufwendungen je-

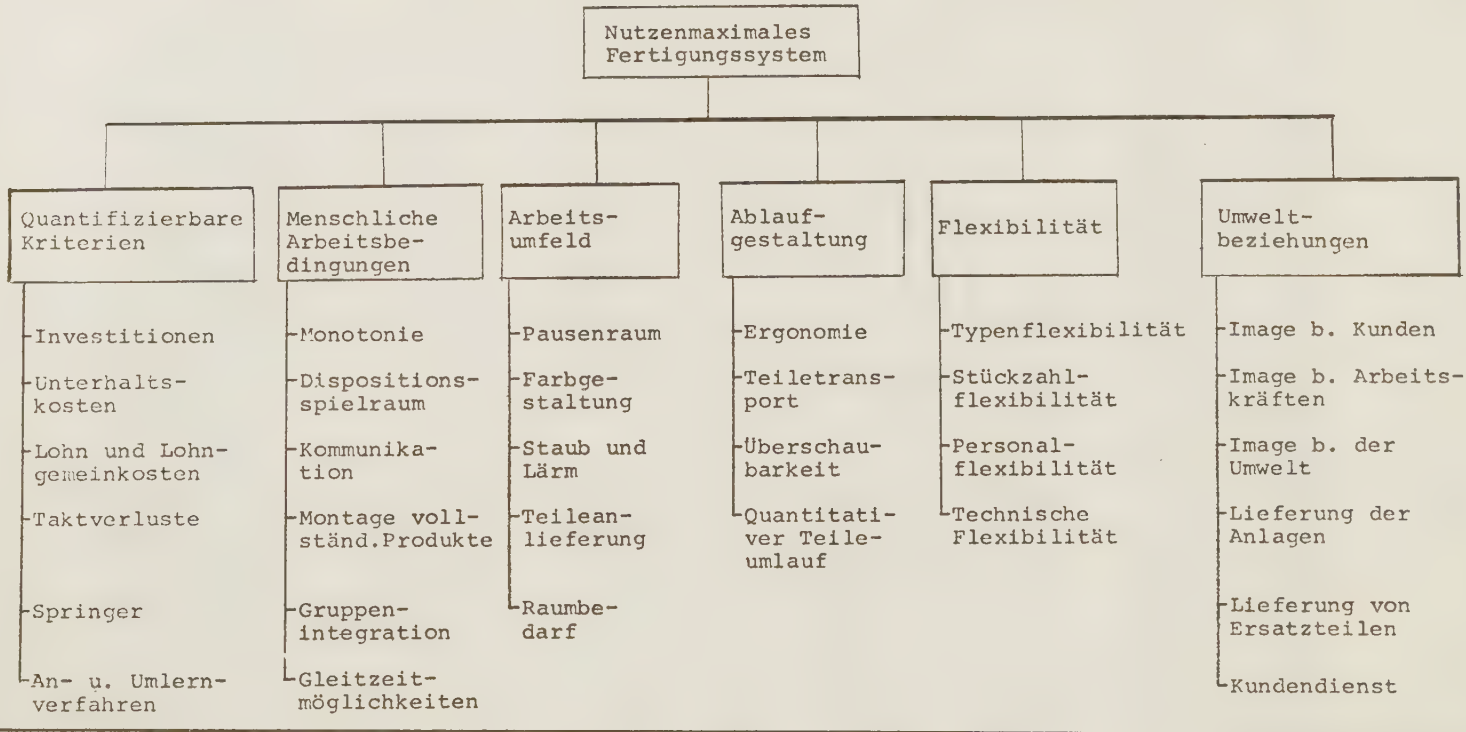


Abb. 35 Zielhierarchie

weils um ein ganzzahliges Vielfaches (vgl. Abschnitt 3.2.2.2.9.).

$$INV = (I_{konst} + I_{var.}) \times PFR$$

wobei:

INV: gesamte Investitionsaufwendungen

I_{konst}: konstanter Anteil der Investitionen pro Einrichtung

I_{var}: variabler Anteil der Investitionen pro Einrichtung

PFR: Zahl der Paralleleinrichtungen

Die Betrachtung der reinen Investitionsaufwendungen ohne Diskontierung zukünftiger Zahlungsströme, die von den Investitionen abhängen, ist nur zulässig, wenn, abgesehen von den Investitionen selbst, für alle Vergleichsalternativen identische Zahlungsströme erwartet werden bzw. wenn unterschiedliche Einflußgrößen getrennt bewertet werden.

Als gleich kann die Lebensdauer der Alternativen angesehen werden, da sie durch folgende Bedingung determiniert ist:

$$LD_j = MIN \{ PL ; TF ; V_j \} ; \quad j = 1 \ldots n$$

wobei

LD_j: wirtschaftliche Lebensdauer der Alternative j

PL: verbleibende Lebensdauer des Produkts, für das die Alternative j konzipiert ist

TF: Zeitraum, in dem kein günstigeres technisches Verfahren zur Montage des betrachteten Produkts gefunden wird

V_j: durch Verschleiß bedingter Zeitraum, der ohne Ersatzinvestition bewältigt wird

n: Gesamtzahl der Alternativen

PL und TF sind für alle Alternativen identisch, da immer das gleiche Produkt und das technisch gleiche Montageverfahren vorausgesetzt sind.

Bei Angaben zum Wert (TF) soll angenommen werden, daß die Einführung eines neuen Verfahrens unabhängig ist von der je Organisationseinheit geplanten Stückzahl. Diese Annahme ist plausibel, da eine Alternative immer an der geforderten Gesamtstückzahl orientiert ist und bei einem Ersatz aufgrund technischer Innovation immer die Gesamtalternative betrachtet wird, also auch die mögliche Auflösung evtl. vorhandener Paralleleinrichtungen.

Bei V_j können sich alternativenspezifische Unterschiede ergeben, wenn der Verschleiß nur von der Laufzeit der Maschinen, die bei Paralleleinrichtungen sinken kann, abhängt. Bei Montageprozessen kann jedoch angenommen werden, daß diese Abhängigkeit nicht gegeben ist, daß vielmehr der Verschleiß im wesentlichen davon bestimmt wird, wie groß die Betriebszeit (= gesamte Belegungszeit der Arbeitsplätze) ist. Der Einfluß,der von der echten Maschinenlaufzeit ausgeht, bezieht sich hier fast ausschließlich auf Einrichtungsteile wie Elektroschrauber, Nietpressen usw., deren Ersatzzeitpunkt grundsätzlich schwer prognostizierbar ist, da Behandlung und/oder Qualitätsschwankungen eine große Rolle spielen.

Selbst wenn bei hochmechanisierten Montageprozessen diese Annahmen nicht zutreffen, ist die Beschränkung auf eine allgemeingültige Lebensdauer zulässig, wenn nicht der technische Verschleiß (V_j), sondern PL oder TF die bestimmenden Größen darstellen. Beispiele aus jüngster Vergangenheit sind die Ablösung mechanischer Rechenmaschinen und Uhrwerke nach dem Einsatz elektronischer Bauteile. Betrachtet man die Geschwindigkeit von Neuentwicklungen in der Vergangenheit, so ist eine rasche Abnahme der Inkubationszeit, als der "Zeitspanne zwischen dem Beweis der technischen Durchführbarkeit und der Erkenntnis der wirtschaftlichen Möglichkeiten" (AYRES, R.U., 1971, S. 76), zu verzeichnen.

Die Wahrscheinlichkeit für eine Begrenzung der wirtschaftlichen Lebensdauer von Investitionen durch äußere Einflüsse, wie Produkt- oder Verfahrensinnovation, nimmt somit ständig zu und läßt gerade bei relativ langlebigen Montageeinrichtungen den Schluß zu, daß die Begrenzung der Lebensdauer von (PL) oder (TF) ausgeht. [1)]

Periodische Zahlungsströme werden, sofern sie verschieden sein können, getrennt bewertet. Dieses Vorgehen macht die Berücksichtigung der Unsicherheiten, die im vorliegenden Planungsstadium mit der Schätzung zukünftiger Zahlungen verbunden sind, durch individuelle Einstufungen möglich.

3.2.1.2.1.2 Unterhaltskosten

Die entscheidungsrelevanten Unterhaltskosten werden bestimmt durch

- den Energiebedarf der Transportsysteme,
- Wartung und Reparatur von Transportsystemen und Einrichtungen, sofern diese Kosten bei gleicher Gesamtausbringung unterschiedlich sein können,
- den Reinigungsaufwand,
- die Umrüstkosten,
- die Störkosten und
- Kosten der Kapitalbindung wegen großer Puffer.

Für die Bewertung unwesentlich sind Kosten, die aufgrund gegebener Voraussetzungen für alle Alternativen identisch sind.

Unproblematisch ist die Angabe der Energiekosten des jeweili-

---

1) Zur Prognose derartiger Entwicklungen vgl.:
PFEIFFER, W. (1971) und STAUDT, E. (1974)

gen Transportsystems, da die Zahl der Antriebsaggregate und deren Anschlußwert, wie sich in der Praxis gezeigt hat, von den Planungsingenieuren gut geschätzt werden können.

Große Unsicherheiten sind dagegen mit der Prognose von Wartungs- und Reparaturaufwand verbunden. Unterschiede zwischen Alternativen können dann auftreten, wenn eine Vielzahl gleichartiger Einrichtungen (Paralleleinrichtungen) unabhängig von der Laufzeit gewartet werden muß bzw. wenn die Störanfälligkeit keine Funktion der Laufzeit ist.

Der Reinigungsaufwand wird hauptsächlich von der Zahl der Einrichtungen bestimmt, erhöht sich also proportional zur Zahl der Paralleleinrichtungen.

Die Umrüstkosten sind abhängig von den erforderlichen Umrüstvorgängen und davon, ob die Rüstarbeiten von den Mitarbeitern selbst oder von einem Vorarbeiter ausgeführt werden. Die Zahl der Rüstvorgänge hängt ab von den Auftragsgrößen und von der Zahl der Paralleleinrichtungen. Stehen mehrere gleiche Systeme zur Verfügung, so kann z.B. bei kleineren Aufträgen eines Typs das Umrüsten auf eine Einrichtung beschränkt werden, oder bei genügend großen Einzelaufträgen werden je Typ bestimmte Einrichtungen während des gesamten Zeitraums nicht umgerüstet. Werden die Umrüstarbeiten von einem Vorarbeiter ausgeführt, so fallen dessen Lohn und der der wartenden Montagearbeiter an. Führen dagegen die Mitarbeiter die Rüstarbeiten selbst aus, entfällt der Lohn des Vorarbeiters, und die benötigte Zeit reduziert sich auf

$$RZ = \frac{GRZ}{STA}$$

GRZ: gesamte benötigte Rüstzeit
STA: Stationen, die umgerüstet werden müssen
RZ : benötigte Rüstzeit

da an allen Stationen gleichzeitig umgerüstet wird. (Im ersten Fall mußte der Vorarbeiter die Stationen nacheinander umstellen, während alle Mitarbeiter warten.)

Die Störkosten sind abhängig von der Stillstandszeit einer Einrichtung, die beeinflußt wird von der Zahl der voneinander abhängigen Personen und den Puffern zwischen den Arbeitsplätzen. Die Störhäufigkeit wird wegen des übereinstimmenden Mechanisierungsgrads aller Alternativen als gleich angenommen. Störungen an Puffern und Transportsystemen sind wenig wahrscheinlich, können also vernachlässigt werden.

Bei vollkommener Abhängigkeit aller Stationen voneinander ist die Laufzeit, ausgedrückt als Nutzungsgrad η :

$$\eta = \prod_{i \cdot 1}^{n} \eta_i \qquad 0 \leq \eta \leq 1$$

η : Gesamtnutzungsgrad
η_i : Nutzungsgrad der Station i
n : Gesamtzahl der Stationen

Bei einem Nutzungsgrad von 0,98 pro Station und nur 5 voneinander abhängigen Stationen beträgt der Gesamtnutzungsgrad nur noch 0,9. Das heißt 90 % der insgesamt verfügbaren Zeit werden produktiv genutzt.

Reichen die Puffer zwischen den Arbeitsplätzen aus, um eine vollkommene Unabhängigkeit der Einzelstationen voneinander zu gewährleisten, ist der Gesamtnutzungsgrad η gleich dem kleinsten vorkommenden Einzelnutzungsgrad.

$$\eta = \min_i \{ \eta_i \}$$

Die Störkosten ergeben sich aus der Bewertung der Stillstandszeit mit Lohnkosten, Lohngemeinkosten und entgangenen Deckungsbeiträgen (zu den Reparaturkosten vgl. oben S. 116).

Eine nähere Betrachtung der Kapitalbindungskosten, die wegen längerer Durchlaufzeiten der Teile bei großen Puffern entstehen, soll hier nicht erfolgen. Ausreichende Informationen sind in dieser Planungsphase nicht verfügbar und die Unterschiede bei den gegebenen Alternativen gering, da für alle Alternativen der gleiche Zeitraum zwischen Materialbeschaffung und Erzeugnisablieferung angenommen werden kann.

Ermittlung der Unterhaltskosten

Da die Unterhaltskosten aus einer Reihe von Einzelwerten zu bestimmen sind, die erst nach ihrer Aggregierung eine Einstufung der Alternative zulassen, wird in einer konkreten Entscheidungssituation die Bestimmung bzw. Abschätzung dieser Kosten gefordert.

Um zugleich eine Relativierung der, je Alternative ermittelten, Unterhaltskosten zu erreichen, wird ein Vorgehen wie in Tab. 7 schematisch dargestellt vorgeschlagen. Die Kostensumme je Alternative wird als Prozentsatz des Maximalwertes ausgedrückt. Dieses Vorgehen erlaubt zugleich (vgl. Abschnitt 3.2.1.4.) die eindeutige Zuordnung der Zielwerte bei der Alternativenbewertung.

3.2.1.2.1.3 Lohn- u. Lohngemeinkosten

Zur Ermittlung der Lohnkosten soll vom Prinzip des Gruppenakkords ausgegangen werden, das für alle Alternativen gilt. Unterschiede, die hier Beachtung finden müssen, sind durch verschiedene Anforderungen an die Qualifikation der Arbeitnehmer und durch die Zahl von Vorarbeitern und Meistern begründet.

Tab. 7

Ermittlung der Unterhaltskosten

Ermittlung der Unterhaltskosten (DM pro Planungsperiode z.B. 1 Jahr)

Alternat. / Kostenart	1	2		n
Energiekosten				
Wartungs-und Reparaturk.				
Reinigungsk.				
Rüstkosten				
Störkosten				
Summe				
Maximum				
Summe je Alternative in % des Max.				

Die Berücksichtigung von Qualifikationsunterschieden erfolgt durch die Wahl der Lohngruppe. Dabei wird angenommen, daß für alle anfallenden Arbeiten die gleiche Qualifikation erforderlich ist. Unterschiede zwischen den Alternativen entstehen dadurch, daß z.B. bei strukturierten Arbeitssystemen ein Mitarbeiter mehrere, im Extremfall alle Tätigkeiten beherrschen muß oder daß weitere über die Montagearbeiten hinausgehende Aufgaben übernommen werden (= höhere Lohngruppe).

Die Zahl der Vorarbeiter und Meister ist abhängig von der Selbständigkeit und vom Kompetenzbereich der Montagearbeiter. Kleine Gruppen, die selbständig alle anfallenden Arbeiten untereinander verteilen, Platzwechsel vornehmen, die Abrechnung vorbereiten, für ausreichenden Teilevorrat sorgen, Montagefehler erkennen und beheben, beanspruchen den Meister als Führungskraft relativ wenig. Große Gruppen dagegen, in denen sich ein Zusammengehörigkeitsgefühl nicht entwickelt, belasten die Meister mit vielen an sich belanglosen Fragen. Die Zahl der Mitarbeiter, die von einem Meister betreut werden kann, ist also wesentlich niedriger.

Bei den verschiedenen Organisationsprinzipien wären etwa folgende Relationen Meister - Untergebene denkbar.

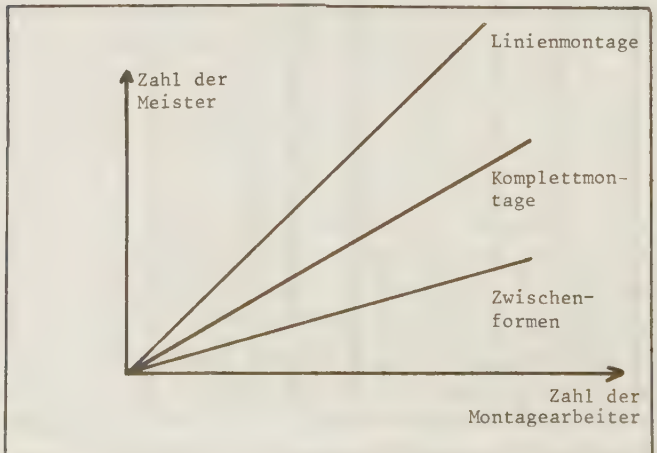


Abb. 36 Zahl der Mitarbeiter pro Meister

Für die Zahl der Vorarbeiter gelten sinngemäß die gleichen Überlegungen. Mehr Selbständigkeit bei kleinen Reparaturen und Umrüstarbeiten führt bei gegebener Mitarbeiterzahl zu einer Verringerung der Vorarbeiterzahl.

Die Lohngemeinkosten verhalten sich direkt proportional zu den Lohnkosten. Sie können also immer als Prozentsatz der Lohnsumme zugeschlagen werden.

3.2.1.2.1.4 Taktverluste

Taktverluste treten nur bei Linienmontagealternativen auf. Sie müssen im Sinne des Opportunitätskostenprinzips mit entgangenen Deckungsbeiträgen [1] und Lohnkosten, die hier entscheidungsrelevant sind, bewertet werden (vgl. Abschnitt 1.2.1.). Wenn, wie im vorliegenden Fall, das Rechnungswesen keine ausreichenden Daten zur Bestimmung der Deckungsbeiträge verfügbar machen kann, muß sich die Bewertung der Taktverluste auf die zusätzlichen Lohnkosten beschränken.

Die Kosten des Zeitausgleiches lassen sich wie folgt darstellen:

$$ZA = IPFR \left(\sum_{j=1}^{N} (TA - AZ_j) \cdot M_j \cdot DULEI \right)$$

wobei

ZA:	Kosten des Zeitausgleiches
IPFR:	Zahl evtl. vorhandener Paralleleinrichtungen (mind. = 1)
TA:	Taktzeit
AZ_j:	notwendige Arbeitszeit an Station j
M_j:	Minutenfaktor der Station j
DULEI:	durchschnittlicher Leistungsgrad

---

1) Zur Taktverlustbewertung vgl. HARDECK, W.; SCHÖNFELDER, G. (1973, S. 25 ff.)

3.2.1.2.1.5 Springer

Springer sind bei Linienmontagen erforderlich, um kurzzeitig ausfallende Arbeitskräfte (persönliche Verteilzeit) zu vertreten und so ein Weiterarbeiten des gesamten Montagebandes zu ermöglichen. Bei allen anderen Systemen können derartige Unterbrechungen durch Puffer oder Platzwechsel ausgeglichen werden. Der Einsatz einer Ersatzperson entfällt.

3.2.1.2.1.6 An- u. Umlernverfahren

Die Kosten für den Anlernprozeß neuer Mitarbeiter sind abhängig von der Dauer des Lernvorgangs,bis eine mit geübten Mitarbeitern vergleichbare Leistung erreicht wird,und vom Grad der Beeinträchtigung weiterer Arbeitskräfte.
Bei Komplettmontage sind viele Arbeitsgänge zu erlernen, also ist die Anlernzeit lange, dagegen entfällt eine Beeinträchtigung weiterer Montagearbeiter völlig. Bei Linienmontage ist die Anlernzeit kurz (nur wenige Handgriffe müssen erlernt werden), die Behinderung der Kollegen jedoch groß, da bei Linienmontage das langsamste Gruppenmitglied den Ausstoß bestimmt. [1)]

3.2.1.2.2 Menschliche Arbeitsbedingungen

3.2.1.2.2.1 Monotonie

Von Monotonie spricht man im Zusammenhang mit einem Montagesystem dann, wenn während der gesamten Arbeitszeit kurzzyklische Arbeitsgänge unmittelbar hintereinander auszuführen sind.

---

1) Ein Modell zur Bestimmung von Taktzeit und Stationenzahl unter Berücksichtigung von Lernprozessen wurde veröffentlicht von STEFFEN, R. (1972)

3.2.1.2.2.2 Dispositionsspielraum

Der Dispositionsspielraum umfaßt die Menge verschiedenartiger Tätigkeiten und Freiheitsgrade, die jeder Mitarbeiter hat. Dazu zählt die Möglichkeit, die Arbeitsplätze innerhalb einer Gruppe zu wechseln, den Arbeitsplatz kurzfristig zu verlassen oder die Verantwortung für Prüfung und Teilebeschaffung zu übernehmen.

3.2.1.2.2.3 Kommunikation

Die Kommunikationsmöglichkeiten,also die räumlichen und organisatorischen Bedingungen, Kontakte zwischen den Mitarbeitern entstehen zu lassen, hängen von der Anordnung und der Art der Arbeitsplätze ab.

3.2.1.2.2.4 Montage vollst. Produkte

Die Montage eines vollständigen Produkts durch einen Mitarbeiter kann die Identifikation mit dem Erzeugnis steigern und dazu beitragen, daß ein "Werkmannstolz" hervorgerufen wird. Die Möglichkeit hierzu ist nur in wenigen Montagesystemen gegeben (z.B. Komplettmontage, Umlaufsysteme oder strukturierte Arbeitssysteme mit vorgesehenen Platzwechseln).

3.2.1.2.2.5 Gruppenintegration

Mit Gruppenintegration wird die Möglichkeit, sich in eine Montagegruppe, die gemeinsam entlohnt wird, einzufügen, bezeichnet. Die Integration in eine Gruppe wird im allgemeinen um so leichter gelingen, je kleiner eine Gruppe ist.

3.2.1.2.2.6 Gleitzeitmöglichkeiten

Die gleitende Arbeitszeit, also die Möglichkeit, Arbeitszeit-

beginn und Ende innerhalb gewisser Grenzen selbst bestimmen zu können, ist nur an Arbeitssystemen denkbar, die die Unabhängigkeit der Mitarbeiter voneinander gewährleisten. Am leichtesten ist Gleitzeit bei Komplettmontage zu verwirklichen. Aber auch bei strukturierten Arbeitssystemen, die mit Zwischenpuffern ausgestattet sind und Platzwechsel ermöglichen, ist die Einführung von gleitender Arbeitszeit möglich. [1)]

Neben einer selbständigen Wahl des Arbeitsplatzes innerhalb einer Gruppe und der Arbeitsunterbrechungen, gibt die gleitende Arbeitszeit weitere Möglichkeiten zur Selbständigkeit des Individuums und erscheint somit geeignet, die Zufriedenheit mit der Arbeit zu erhöhen. Wenn zudem im Verwaltungsbereich Gleitzeit eingeführt ist, kann die Ausdehnung auf Montageabteilungen zu einer Verbesserung des Arbeitsklimas beitragen.
Die Variationsmöglichkeiten der Arbeitszeit müssen im Einzelfall auf Schichtenzahl, Betriebsbereitschaft der Hilfsbetriebe usw. abgestellt sein.

3.2.1.2.3 Arbeitsumfeld

Für die Güte eines Montagesystems ist auch entscheidend, wie die Gestaltung des Arbeitsumfelds erfolgen kann.

3.2.1.2.3.1 Pausenraum

Pausenräume können für jede Form der Montageorganisation vorgesehen werden. Da jedoch ihre Größe von der Personenzahl je Gruppe abhängt, treten Unterschiede zwischen den Alternativen auf. Bei kleinen Gruppen (ca. 4 - 12 Personen) schafft ein gemeinsamer Pausenraum Kontakte innerhalb dieses Personenkrei-

---

1) Zu praktischen Erfahrungen mit gleitender Arbeitszeit in der Fertigung vgl. JÄGER, R. (1975)

ses und wird erfahrungsgemäß von den meisten Gruppenmitgliedern akzeptiert. Bei großen Einheiten dagegen können sich Untergruppen bilden und Einzelgänger ausgeschlossen werden. Dennoch kann der Einfluß von Pausenräumen, je nach Zusammensetzung auch einer großen Gruppe, positive Auswirkungen auf die Kooperation haben, so daß eine individuelle Bewertung dieses Aspekts gerechtfertigt erscheint.

3.2.1.2.3.2 Farbgestaltung

Auch die Wirkung der Farbgestaltung für Wände, Werktische, Transporteinrichtungen und Maschinen kann je Alternative individuell verschieden eingeschätzt werden. Die Reaktion der Mitarbeiter auf die Farbauswahl für große und kleine, überschaubare Einrichtungen kann unterschiedlich sein. Die freie Wahl der Farben erlaubt bei kleinen Einrichtungen die Anpassung an den individuellen Geschmack.

Ein Einfluß der Farbgestaltung auf die Güte eines Montagesystems könnte jedoch auch völlig verneint werden. [1)]

3.2.1.2.3.3 Staub u. Lärm

Staub und Lärm beeinträchtigen die Qualität eines Arbeitsplatzes sehr stark. Die Alternativen unterschieden sich hinsichtlich dieser Einflußgrößen. Bei großen Systemen ist die Abschirmung der übrigen Mitarbeiter von Arbeitsplätzen, die Staub bzw. Lärm verursachen, gut möglich. Bei kleinen Gruppen ist die Abschirmung schwieriger; Dauer und Intensität der Beeinträchtigung sind jedoch geringer, da eine kürzere zeitliche Inanspruchnahme der betreffenden Maschinen je Gruppe weniger stört.

---

1) Im hier betrachteten Betrieb war in Gesprächen mit Montagearbeitern eine positive Resonanz auf optisch ansprechende Ausstattung von Räumen und Einrichtungen festzustellen.

3.2.1.2.3.4 Teileanlieferung

Die Teileanlieferung verursacht je Organisationsprinzip unterschiedliche Maßnahmen und Kosten. Bei kleinen Einheiten muß die Anlieferung von Einzelteilen und/oder Baugruppen an vielen Stellen erfolgen. Transportwege müssen passend konzipiert werden und sind länger als bei größeren Einrichtungen, die nur an einer Stelle beliefert werden.

Ungleich ist auch die organisatorische Gestaltung der Anlieferung, wenn die Verantwortung für rechtzeitige Materialbereitstellung den Gruppen selbst übertragen wurde bzw. wenn die Teilelieferung vom Lager aus gesteuert wird (z.B. im Rahmen einer EDV-unterstützten Betriebssteuerung).

3.2.1.2.3.5 Raumbedarf

Relativ große Unterschiede ergeben sich im Raumbedarf der einzelnen Alternativen. Je nach Ausgangssituation der Planung muß jedoch eine entsprechende Bewertung des benötigten Raumes erfolgen.

Sofern eine bestimmte Fläche auch bei nur teilweiser Belegung keiner anderen Nutzung zugeführt werden kann, ist der Raumbedarf für die Alternativenbewertung irrelevant. Ist eine andere Nutzung denkbar, muß, ausgehend von der Anordnung mit dem geringsten Raumbedarf, die zusätzlich benötigte Fläche mit Opportunitätskosten bewertet werden. Eine Quantifizierung dieser Kosten im Planungsstadium ist jedoch kaum möglich, so daß die Angabe einer qualitativen Wertung ausreichend erscheint.

Soll neuer Raum, abhängig von der gewählten Alternative, geschaffen werden, so müssen die zusätzlichen Kosten des höheren Raumbedarfs die Bewertung bestimmen. Im vorliegenden Unternehmen ist jedoch dieser Aspekt von untergeordneter Bedeutung und rechtfertigt eine Eingliederung des Raumbedarfs zu den quantifizierbaren Kriterien nicht. Falls dennoch eine quantitative Berücksichtigung notwendig wird, kann sie im Rahmen der Investitionen vorgenommen werden.

3.2.1.2.4 Ablaufgestaltung

Der Punkt Ablaufgestaltung gestattet eine Bewertung von Teilaspekten, die bei der Realisierung Zahlungsströme verursachen können. Diese sind jedoch in der Grobplanungsphase nur qualitativ abzuschätzen.

3.2.1.2.4.1 Ergonomie[1)]

Die ergonomischen Gestaltungsmöglichkeiten der Arbeitsplätze hängen unter anderem auch von deren Größe ab. Tendenziell ist die Ergonomie an großen Arbeitsplätzen schlechter als an Stationen mit kleinem Arbeitsinhalt und wenigen Montageteilen. Eine Auswirkung auf die Vorgabezeiten und damit auf die Lohnkosten kann auftreten, ist jedoch hier nicht mit ausreichender Bestimmtheit quantifizierbar.

3.2.1.2.4.2 Teiletransport

Obwohl der Zeitbedarf für den Teiletransport zwischen den Arbeitsplätzen die Lohnkosten beeinflussen kann, erfolgt hier eine rein qualitative Bewertung. Ist zu vermuten, daß der Teiletransport die Mitarbeiter anstrengt oder daß wegen komplizierter Mechanisierung Störungen zu erwarten sind, so erfolgt eine andere Einstufung als bei einfachem, störunempfindlichem Transport.

---

1) Zum Begriff der Ergonomie vgl. REFA, Teil 1 (1971, S. 93ff)

3.2.1.2.4.3 Überschaubarkeit

Ein Montagesystem ist für Führungskräfte und Mitarbeiter überschaubar, wenn
- der Stand von Aufträgen leicht zu erkennen,
- der Fortschritt von Umrüstarbeiten bei Typenwechsel klar ersichtlich oder
- bei Störungen und bedarfsgesteuerten Platzwechseln ein schnelles Auffinden sinnvoller Ausweicharbeitsplätze möglich ist.

Ein komplizierter Materialfluß oder unübersichtliche Anordnungen der Arbeitsplätze und Puffer wirkt sich auf die Überschaubarkeit der Alternativen negativ aus.

3.2.1.2.4.4 Quantitativer Teileumlauf

Die Zahl von Teilen, die in einem Fertigungssystem enthalten sein kann, führt unter Umständen zu einer hohen Kapitalbindung. Obwohl zwischen den vorgestellten Alternativen erhebliche Unterschiede nicht erwartet werden (vgl. oben S. 118), bewirken große Puffer tendenziell eine Erhöhung des Teileumlaufs.

3.2.1.2.5 Flexibilität

Unter Flexibilität wird hier die Fähigkeit eines Fertigungssystems, sich an veränderte Datenkonstellationen anzupassen, verstanden. Es erfolgt die Unterscheidung in:
- Typenflexibilität
- Stückzahlflexibilität
- Personalflexibilität
- Technische Flexibilität.

Der Flexibilität eines Montagesystems kommt immer größere Bedeutung zu, da sowohl die Zahl der Typen ständig zunimmt, als auch kurzfristige Stückzahländerungen, bei bewußt knapper Lagerhaltung der Kunden, bewältigt werden müssen. Zudem ist bei Ausfall von Personal unter Umständen nicht sofort Ersatz verfügbar. Auch die technische Weiterentwicklung von Produkten und Verfahren hat sich stark beschleunigt, so daß eine hohe Anpassungsfähigkeit unter diesem Aspekt ebenfalls bedeutsam ist.

3.2.1.2.5.1 Typenflexibilität

Die Typenflexibilität einer Alternative wird bestimmt von ihrer Fähigkeit, schnell auf bekannte Produktabwandlungen (= Typen) umgestellt werden zu können bzw. eine Erweiterung der Typenzahl zu bewältigen. Das kann den Ausfall bestimmter Arbeitsgänge, aber auch eine Änderung ohne Variation der Zahl der Arbeitsgänge bedeuten. Da gerade bei Produkten, die genau auf spezielle Forderungen der Kunden ausgerichtet sein müssen, die Zahl der Sonderwünsche stark zunimmt, ist die Typenflexibilität bedeutsam. [1)]

3.2.1.2.5.2 Stückzahlflexibilität

Unter Berücksichtigung der Unsicherheiten, die mit der Prognose von Stückzahlen verbunden ist, wird der Stellenwert der Stückzahlflexibilität deutlich. Meist war bei den herkömmlichen Montagesystemen eine Reaktion auf Stückzahländerungen kurzfristig nur durch zeitliche Anpassung (Überstunden, Kurzarbeit, Einführung oder Weglassen einer 2. Schicht) möglich oder langfristig durch Ausweitung der Kapazität (Parallelein-

---

1) Die Vielzahl der Sonderwünsche von Kunden hat auch bei den Produkten selbst zur Konzipierung von Baukastenlösungen geführt.

richtungen) denkbar. Diese Anpassungsmöglichkeiten gelten unabhängig von der gewählten Organisationsform, sind also hier für die Bewertung nicht relevant.

Bei einigen der vorgestellten Anordnungsformen (z.B. Umlaufsysteme, gleitende Abtaktung) besteht jedoch zusätzlich die Möglichkeit, durch Variation der Personenzahl eine Stückzahländerung zu bewältigen.

3.2.1.2.5.3 Personalflexibilität

Die Personalflexibilität ist hier ausschließlich als Reaktion auf unerwartete Personalausfälle definiert (nicht der veränderte Personaleinsatz bei Typen- oder Stückzahländerungen).

Ein Montagesystem ist flexibel in diesem Sinne, wenn bei Krankheit, Urlaub oder sonstiger, auch kurzzeitiger Abwesenheit von Arbeitskräften die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems erhalten bleibt. Unterschiede ergeben sich durch einen veränderten Zeitaufwand, wenn Platzwechsel nötig werden oder wenn die Häufigkeit von Platzwechseln zunimmt.

3.2.1.2.5.4 Technische Flexibilität

Wenn Änderungen am Produkt oder am Produktionsverfahren eine Umgestaltung des Montageprozesses erzwingen oder diese aus wirtschaftlichen Erwägungen zu erfolgen hat, muß die Fähigkeit eines Systems, solche Änderungen zu bewältigen (= technische Flexibilität), ebenfalls bewertet werden. Die zunehmende Geschwindigkeit der technischen Innovationsprozesse zeigt die Bedeutung dieses Flexibilitätsaspekts (vgl. oben S. 114).

3.2.1.2.6 Umweltbeziehungen

Die Gestaltung eines Montagesystems kann sich auch durch die

Beziehungen zu Kunden, Arbeitsmarkt oder Lieferanten über den Bereich des Unternehmens hinaus auswirken.

So wird das Image des Unternehmens bei den Kunden durch eine Montageorganisation, die Produktqualität und Termintreue positiv beeinflußt, erhöht bzw. im umgekehrten Fall erheblich verschlechtert.

Die Attraktivität der Arbeitsplätze stärkt die Position am Arbeitsmarkt (z.B. wenn selbständige Arbeit und die Möglichkeit zur Höherqualifizierung angeboten werden).

Ebenso wirkt sich eine günstige Einschätzung der Arbeitsplätze in der Bevölkerung auf das Ansehen des Unternehmens aus. Auf längere Sicht erhöhen sich Absatzchancen und Arbeitskräfteangebot.

Einige Außenbeziehungen des Unternehmens hängen auch direkt mit dem Montagesystem zusammen. So sind die Liefertermine für die Anlagen selbst, aber auch für Ersatzteile und der verfügbare Kundendienst für die Auswahlentscheidung von Bedeutung.

3.2.1.3. Gewichtung der Zielkriterien

Bei der hier gegebenen multidimensionalen Zielsetzung kann nicht angenommen werden, daß alle Zielgruppen und, innerhalb dieser Gruppen, alle Einzelkriterien für die Auswahlentscheidung gleichbedeutend sind. Deshalb muß, um die Präferenzstruktur des Entscheidungsträgers abzubilden, eine Gewichtung erfolgen. "Für die Messung der Präferenzstruktur wird der Typ der Intervallskala verwendet, bei der die Abstände der Skalenwerte den Nutzenunterschieden entsprechen und kardinal vergleichbar sind." (EMMERT, P., 1974, S. 100).

Da es erfahrungsgemäß einfacher ist, Gewichte innerhalb kleiner Gruppen zu verteilen, werden zunächst die Zielgruppen mit Gewichten versehen. Damit hat der Entscheidungsträger die Möglichkeit, den angenommenen Einfluß quantitativer bzw. qualitativer Größen zu relativieren.

Innerhalb der Klassen erfolgt die Gewichtung der Merkmale im Hinblick auf das übergeordnete Gruppenziel. Auch hier bestimmen die individuellen Präferenzen die Gewichte.

Die Summe aller Gruppengewichte und die Summe der Einzelgewichte innerhalb jeder Gruppe muß 1,00 sein.(Wenn sich nach Angabe aller Gewichte eine andere Summe ergibt, erfolgt eine Normierung der Werte.)

Beim hier gegebenen Zielsystem mit 6 Gruppen und bis zu 6 Kriterien sind zur Gewichtung nur 6 Werte gleichzeitig zu betrachten. In den meisten Fällen kann bei dieser überschaubaren Kriterienzahl die Angabe der Gewichte direkt erfolgen, so daß iterativ alle Kriterien der Präferenzordnung gemäß eingestuft werden.

Wenn die Zahl der Merkmale stark ansteigt, ist dieses Vorgehen nicht mehr zweckmäßig, da die simultane Berücksichtigung vieler Größen zu Fehleinschätzungen führen kann. Dann bietet sich die Verwendung eines systematischen Verfahrens zur Bestimmung der Gewichtungsfaktoren an. Einen Überblick über derartige Verfahren geben z.B. STREBEL, H. (1972) und ZANGEMEISTER, C. (1971, S. 207 ff.).

Bei der Gewichtung von nur sechs Kriterien wird von ZANGEMEISTER, C. (1971,S. 212) das Verfahren der sukzessiven Vergleiche von CHURCHMAN, C.W. und ACKOFF, R.L. (1954) für anwendbar gehalten. Er beschreibt die Methode anhand folgender Be-

wertungsschritte:

"1. Schritt:

Die Zielkriterien werden in eine ordinale Präferenzordnung gebracht, so daß für die Gewichte ..." g_i gilt

$$g_1 > g_2 > \dots > g_n$$

"2. Schritt:

Das am höchsten eingestufte Zielkriterium erhält provisorisch den Wert 1,0. Den übrigen Zielkriterien werden dann entsprechende Werte zugeordnet, so daß die obige..." (vgl. Schritt 1) Präferenzordnung erfüllt ist.

"3. Schritt:

Es werden sukzessive alle numerisch zugeordneten Gewichte g_i ... einzeln jeweils mit der Summe der restlichen ... Gewichte verglichen. Dabei kann g_i größer, kleiner oder gleich dieser Summe eingeschätzt werden. Falls das ursprünglich zugeordnete Gewicht dieser Einschätzung nicht entspricht, müssen entweder g_i selbst oder die..." übrigen "... Gewichte der betrachteten Teilsumme korrigiert werden."

"4. Schritt:

Sind sämtliche Gewichte entsprechend Schritt 3 überprüft und gegebenenfalls korrigiert worden, so können sie aufgrund der für Verhältnisskalen zulässigen multiplikativen Transformation..." normiert werden.

Aussage der Zielgewichte

Die Zielgewichte drücken aus, welche Bedeutung für das Gesamtziel, bei maximaler Erfüllung des Einzelziels, vom Individuum angenommen wird. Der Entscheidungsträger muß sich also über den Einfluß jeder Zielgruppe und, innerhalb der Gruppen,

jedes Einzelziels auf die übergeordnete Zielvorstellung klar sein.

Die empirische Sozialforschung (vgl. oben: Behandlung der Arbeitszufriedenheit) kann hierfür keine allgemeingültigen Maßstäbe anbieten, sondern zeigt nur Erklärungsansätze auf (vgl. NEUBERGER, O. (1974 - 1 und 1974 - 2) und andere).

Diese Tatsache rechtfertigt einerseits das hier empfohlene Vorgehen zur Gewichtung, weist aber auch auf die große Gefahr von individuellen Fehleinschätzungen hin. Sie macht deutlich, welch hohe Anforderungen an den Erfahrungsschatz und das Einfühlungsvermögen des Entscheidungsträgers gestellt werden.

Bei der großen Zahl von Einzelgewichten, die bestimmt werden müssen, besteht jedoch auch die Hoffnung, daß sich negative und positive Fehleinschätzungen in etwa ausgleichen werden.

3.2.1.4. Bewertung der Alternativen [1)]

Ist das Zielsystem aufgestellt, müssen die Ausprägungen der Kriterien beschrieben werden.
Man gibt dazu für jedes Kriterium den Bereich der möglichen Zielerträge an, der für die Unternehmung in der gegebenen Entscheidungssituation relevant ist.
Bei quantitativen Kriterien genügt es, Ober- und Untergrenze zahlenmäßig anzugeben; bei qualitativen Zielen muß der Zielertragsbereich verbal beschrieben werden.

---

1) Der Abschnitt 3.2.1.4. wurde von R. KÖSTLER (1975) im Rahmen seiner Diplomarbeit bearbeitet und wird hier mit kleinen Änderungen widergegeben (vgl. KÖSTLER, R., 1975, S. 15 - 19).

Sind die Zielertragsbereiche abgesteckt, werden sie in Klassen eingeteilt, die genau voneinander abgegrenzt sind. [1] Bei quantitativen Kriterien können die Klassengrenzen zahlenmäßig erfaßt werden, bei qualitativen Zielen werden sie verbal beschrieben.

Anschließend werden die Klassen mit Namen versehen, die miteinander eine N o m i n a l s k a l a bilden, zum Beispiel "sehr gut - gut - befriedigend - schlecht - sehr schlecht."

Da wir aus den (nominalen) Zielerträgen noch keine Gruppen- oder Gesamtnutzen berechnen können, müssen die Nominalskalen in K a r d i n a l s k a l e n transformiert werden. [2]

Dazu verwenden wir eine I n t e r v a l l s k a l a , da wir für die Nutzenberechnungen, neben den ordinalen Beziehungen der Zielerträge, auch die Nutzendifferenzen erfassen müssen.

Mit der "direkten Intervallskalierung" [3] ist die Bewertung relativ leicht durchführbar, und sie führt unmittelbar zu den gesuchten Punktwerten (Scores).

Das Verfahren ist unter dem Namen "rating" bei Scoring-Modellen weit verbreitet und entspricht etwa der Vergabe von Schulnoten (ZANGEMEISTER, C., 1971, S. 164).

---

1) Die Anzahl der zu bildenden Zielertragsklassen hängt von der Fähigkeit des Entscheidungsträgers zur Unterscheidung verschiedener Intensitätsgrade ab, ist aber sonst willkürlich.

2) vgl. STREBEL, H. (1969, S. 263)

3) vgl. ZANGEMEISTER, C. (1971, S. 162 ff.); die "direkte Intervallskalierung" ist eine Untermenge der "Intervallskalierung". Intervallskalen und Verhältnisskalen bilden die Menge der Kardinalskalen.

Voraussetzungen der Intervallskalierung sind:

(1) Äquidistantes Urteilsschema und

(2) die Vereinbarung, daß den empirischen Nutzenunterschieden numerische Differenzen zwischen Skalenwerten entsprechen.

Um aber die Ergebnisse verschiedener Urteilsfolgen miteinander vergleichen zu können, sind, wie ZANGEMEISTER (1971, S. 166) gezeigt hat, noch die folgenden Schritte vorzunehmen:

(3) Definition eines allgemein verbindlichen Nullpunktes und

(4) die Festlegung einer gemeinsamen Bewertungseinheit.

Dies hebt die Intervallskala formal auf das Niveau einer Verhältnisskala, die dann die Addition der gewogenen Teilnutzen zu Gesamtnutzen erlaubt.

Bewerten der Alternativen

Sind die Zielertragsklassen genau voneinander abgegrenzt, können Zielerträge geschätzt und an der Punktwertskala in Z i e l w e r t e (Scores) transformiert werden.

Hier soll jedoch nicht die Messung eines Scores genügen, sondern das Verfahren der Bewertung erweitert werden.

Zur Behandlung der Unsicherheit werden

(1) d r e i Scores pro Kriterium vergeben und

(2) d r e i Wahrscheinlichkeiten geschätzt.

3.2.1.4.1. Angabe von Scorewerten

Den Grund der Messung mehrerer Scores pro Kriterium beschreibt HART, A. (1966, S. 356) so:

"The data used in the evaluation can never be estimated exactly, therefore it may be unrealistic to express the value of a project as a single number. If the accuracy of the data is suspect, the effect of the variability of the data on the project score should be ascertained. ...
If neccessary, a more rigorous analysis can be undertaken by calculating project scores based on optimistic, most likely and pessimistic values of the data."

Der Anregung von HART folgend, ist deshalb die Grundlage der Nutzenberechnungen unseres Scoring-Modells die Schätzung von jeweils drei Scores pro Kriterium und Alternative.

Es handelt sich um einen "pessimistischen", einen "normalen" und einen "optimistischen" Punktwert, die als "charakteristische Werte einer Häufigkeitsverteilung" (BROCKHOFF, K., 1973, S. 89) aufgefaßt werden können.

Jeder der drei Scores repräsentiert einen Zielertrag, den der Beurteiler einer Alternative bei Eintreffen bestimmter Konstellationen aller Einflußfaktoren zumißt.

So gibt der "pessimistische" Punktwert den Nutzen an, der bei Eintritt ungünstigster Umstände (noch) erwartet wird, während der "optimistische" Punktwert den Zielertrag bezeichnet, der bei günstigsten Voraussetzungen bestenfalls erreicht werden kann. Der "normale" Score charakterisiert dann analog den Zielertrag bei Eintreten durchschnittlicher Umstände.

Die Score-Werte werden im Intervall 0 bis 10 ganzzahlig angegeben.

Zur praktischen Durchführung der Bewertung wird das folgende Schema (Tab. 8 bis 13) verwendet. Es erlaubt eine übersichtliche Einstufung der Alternativen anhand verbaler oder quan-

Tabelle 8

Kriterien \ Zielwerte	$9 \leq X_j \leq 10$ (sehr gut)	$6 \leq X_j < 8$ (gut)	$3 \leq X_j \leq 5$ (befriedigend)	$1 \leq X_j \leq 2$ (schlecht)	$X_j = 0$ (sehr schlecht)
Investitionen	Nur die Minimalinvestition (= 1 Einrichtung) ist erforderlich (manuelles Teiletransfer)	Eine Einrichtung ist erforderlich. Jedoch höhere Investitionen wegen mechan. Teiletransfers	2 Paralleleinrichtungen sind erforderlich	3 oder 4 Paralleleinrichtungen sind erforderlich	Mehr als 4 Paralleleinrichtungen sind erforderlich
Unterhaltskosten (UK) (vgl. Tab. 7, S.119)	UK < 20 %	20 % ≤ UK < 50 %	50 ≤ UK < 80 %	80 % ≤ UK ≤ 95 %	95 % < UK < 100 %
Lohn- und Lohngemeinkosten	Die Mitarbeiter beherrschen nur die Arbeiten an einer Montagestation.	Die Mitarbeiter beherrschen die Arbeiten an wenigen Stationen, sind aber nicht berechtigt selbständig andere Arbeiten vorzunehmen.	Die Mitarbeiter beherrschen alle Montagearbeitsgänge und nehmen selbständig kleinere Aushilfsarbeiten vor.	Die Mitarbeiter beherrschen alle Montage- und Prüfarbeiten und verteilen die Arbeiten selbständig innerhalb einer Gruppe.	Die Mitarbeiter beherrschen alle Montage- und Prüfarbeiten und sind verantwortlich für Materialdisposition usw..
Taktverluste	Keine Taktverluste	Geringe Taktverluste können erwartet werden TV ≤ 4 %	Taktverluste von 4 % < TV ≤ 6 % werden erwartet	Taktverluste von 6 % < TV ≤ 8 % werden erwartet	Wegen starker Untergliederung der Arbeiten sind hohe Taktverluste zu erwarten (ca.10 %) TV > 8 %
Springer	Springer sind nicht erforderlich	1 Springer betreut mehr als 15 Mitarbeiter	1 Springer betreut 10 bis 15 Mitarbeiter	1 Springer betreut 6 bis 9 Mitarbeiter	1 Springer betreut weniger als 6 Mitarbeiter
An- und Umlernverfahren	Keine Beeinträchtigung weiterer Mitarbeiter. (kurze Anlernzeit)	Keine Beeinträchtigung weiterer Mitarbeiter. (lange Anlernzeit)	Geringe Beeinträchtigung weiterer Mitarbeiter (z.B.steigende Zahl von Platzwechseln) (kurze Anlernzeit)	Behinderung einer kleinen Gruppe weiterer Mitarbeiter. (lange Anlernzeit)	Behinderung vieler weiterer Mitarbeiter (lange Anlernzeit)

Gruppe: menschliche Arbeitsbedingungen

Kriterien \ Zielwerte	$9 \leq x_j \leq 10$ (sehr gut)	$6 \leq x_j \leq 8$ (gut)	$3 \leq x_j \leq 5$ (befriedigend)	$1 \leq x_j \leq 2$ (schlecht)	$x_j = 0$ (sehr schlecht)
Monotonie	Selbständige Auswahl der Tätigkeiten aus verschiedenartigen Arbeitsgängen ist in Abstimmung mit den übrigen Kollegen möglich.	Mehrere verschiedene Tätigkeiten können durch frei bestimmbare Platzwechsel ausgewählt werden.	Mehrere gleichartige Tätigkeiten sind jeweils zusammenhängend auszuführen. Arbeitsplatzwechsel ist nicht regelmäßig vorgesehen.	Gleichwertige Tätigkeiten sind an einer Station zusammengefaßt. Platzwechsel sind nicht möglich.	Repetetive, kurzzyklische Arbeitsgänge ohne Abwechslung
Dispositionsspielraum	Verantwortung für Produktqualität, Teilebereitstellung, Umstellarbeiten und Reparatur kleiner Störungen kann den Mitarbeitern übertragen werden.	Verantwortung für Produktqualität, einfache Umstellarbeiten und Steuerung der Platzwechsel kann den Mitarbeitern übertragen werden.	Die Mitarbeiter können Prüf- und Fertigungsarbeitsgänge ausführen. Rüst- und Reparaturarbeiten werden von Vorarbeitern durchgeführt.	Die Mitarbeiter beherrschen mehrere Arbeitsgänge, führen jedoch keine Prüfarbeiten durch.	Die Mitarbeiter haben nur die Verantwortung für einen Arbeitsgang. Teileversorgung, kleine Reparaturen usw. werden von Hilfskräften übernommen.
Kommunikation	Kontakt mit Kollegen kann immer ohne Schwierigkeit hergestellt werden.	Der Kontakt mit Kollegen kann mit kleinen Beeinträchtigungen hergestellt werden.	Die Verständigung zwischen Mitarbeitern kann durch Blickkontakt oder Zeichen erfolgen.	Zwischen den Mitarbeitern besteht kein Blickkontakt. Eine Verständigung ist nur mit Schwierigkeiten möglich.	Völlige Isolation der Mitarbeiter. Während der Arbeit ist kein Kontakt mit anderen möglich.
Montage vollst. Produkte	Die Produkte werden von einem Mitarbeiter vollständig montiert.	Alle Arbeitsgänge können an einer bestimmten Zahl von Produkten durch Platzwechsel hintereinander ausgeführt werden.	Die Ausführung aller Arbeiten eines Produkts ist möglich, jedoch nicht unmittelbar aufeinanderfolgend.	Mehrere Arbeiten an einem Produkt werden ausgeführt, jedoch nie alle Arbeitsgänge	Die Montage vollständiger Produkte ist nicht möglich. (Nur einer oder wenige Arbeitsgänge)
Gruppenintegration	Gruppengröße bis 5 Mitarbeiter	Gruppengröße 6-8 Mitarbeiter	Gruppengröße 8-10 Mitarbeiter	Gruppengröße 11-15 Mitarbeiter	Gruppengröße mehr als 15 Mitarbeiter
Gleitzeitmöglichkeiten	Gleitende Arbeitszeit ist mit einer kurzen Kernzeit möglich (Gleitspanne ca. 2 Stunden)	Gleitende Arbeitszeit ist mit Gleitspannen von ca. 60 Min. möglich.	Gleitende Arbeitszeit ist mit Gleitspannen von ca. 30 Min. möglich.	Gleitende Arbeitszeit ist mit geringen Gleitspannen (ca. 15 Min.) möglich.	Gleitende Arbeitszeit ist nicht möglich.

Gruppe: Arbeitsumfeld

Kriterien \ Zielwerte	$9 \leq x_j \leq 10$ (sehr gut)	$6 \leq x_j \leq 8$ (gut)	$3 \leq x_j \leq 5$ (befriedigend)	$1 \leq x_j \leq 2$ (schlecht)	$x_j = 0$ (sehr schlecht)
Pausenraum	Er führt zu einer besseren Gruppengemeinschaft und fördert die Zusammenarbeit stark.	Er führt zu einer besseren Gruppengemeinschaft, verbessert aber die Zusammenarbeit nur wenig.	Er führt zu einer besseren Gruppengemeinschaft, ohne Auswirkung auf die Zusammenarbeit.	Er macht Gruppenbesprechungen usw. möglich, hat aber sonst keine positiven Wirkungen.	Er hat keine Auswirkung auf die Zusammenarbeit in der Gruppe oder fördert Streitigkeiten.
Farbgestaltung	Eine sehr gute Gestaltung ist möglich. (Ein Gesamtkonzept kann verwirklicht werden.)	Eine gute Farbgestaltung ist für die wesentlichen Elemente einer Alternative möglich.	Eine gute Farbgestaltung ist schwierig aber noch durchführbar.	Die farbliche Gestaltung ist nur für kleine Teile der Alternative möglich.	Eine ansprechende Farbgestaltung ist nicht möglich.
Staub und Lärm	Staub und Lärm können völlig von den Mitarbeitern ferngehalten werden.	Staub und Lärm führen zu geringen Störungen, die nur kurzfristig wirken.	Staub und Lärm verursachen wesentliche Störungen, wirken aber nur kurzfristig	Staub und Lärm verursachen länger anhaltende starke Störungen	Staub und Lärm beeinträchtigen die Mitarbeiter dauernd sehr stark.
Teileanlieferung	Keine Behinderung des Arbeitsablaufs, nur selten nötig	Keine Behinderung, aber relativ häufig erforderlich.	Geringfügige Störung der Mitarbeiter, selten nötig	Geringe Störung der Mitarbeiter, häufig erforderlich	Unterbrechung des Arbeitsablaufs, häufig erforderlich
Raumbedarf	Minimaler Raumbedarf (Min.)	Raumbedarf ca. 2 x Min.	Raumbedarf ca. 3 x Min.	Raumbedarf ca. 4 x Min.	Raumbedarf ca. 5 x Min.

Tabelle 11

Gruppe: Ablaufgestaltung

Kriterien \ Zielwerte	$9 \leq x_j \leq 10$ (sehr gut)	$6 \leq x_j \leq 8$ (gut)	$3 \leq x_j \leq 5$ (befriedigend)	$1 \leq x_j \leq 2$ (schlecht)	$x_j = 0$ (sehr schlecht)
Egonomie	Geringstmögliche körperliche Beanspruchung. Günstige Anordnung aller Behälter, Werkzeuge und Vorrichtungen.	Geringe Beanspruchung durch längere Wege bei sonst guter Gestaltung des Arbeitsablaufs.	Mittlere Beanspruchung durch längere Wege bei meist symmetrischem Arbeitsablauf.	Hohe Beanspruchung durch lange Wege und teilweise unsymmetrischen Arbeitsablauf.	Große körperliche Beanspruchung durch lange Greifwege, häufige Körperdrehungen, unsymmetrischen Arbeitsablauf.
Teiletransport	Von den Mitarbeitern gesteuert, ohne Anstrengung bei geringer Störanfälligkeit.	Von den Mitarbeitern gesteuert, geringer Zeitverlust durch lange Transportwege.	Von den Mitarbeitern beeinflußbar, mit Zeitaufwand verbunden.	Von den Mitarbeitern wenig beeinflußbar, Abhängigkeit von Kollegen ist gegeben.	Von den Mitarbeitern nicht beeinflußbar.
Überschaubarkeit	Der Stand von Aufträgen der Materialfluß und der Arbeitsfortschritt der Teile sind klar erkennbar.	Ein klarer Materialfluß wird nur an wenigen Stellen unterbrochen.	Der Materialfluß ist eindeutig, aber an einigen Stellen durch übersehbare Puffer unterbrochen.	Der Materialfluß ist von vielen Puffern oder Umlenkungen unterbrochen.	Ein verworrener Materialfluß macht das Erkennen des Arbeitsfortschritts ohne Rückfragen nicht möglich.
Quantitativer Teileumlauf	Im System sind immer so viele Teile wie Personen.	Im System können nur wenig mehr Teile als Personen sein. (Faktor 3)	Die Zahl der Teile im System kann das 5-fache der Personenzahl erreichen.	Der Teileumlauf kann ca. das 15-fache der Personenzahl erreichen.	Der Teileumlauf kann ein Vielfaches der Personenzahl erreichen. (Faktor 20)

Tabelle 12

Gruppe: Flexibilität

Kriterien \ Zielwert	$9 \leq x_j \leq 10$ (sehr gut)	$6 \leq x_j \leq 8$ (gut)	$3 \leq x_j \leq 5$ (befriedigend)	$1 \leq x_j \leq 2$ (schlecht)	$x_j = 0$ (sehr schlecht)
Typenflexibilität	Umstellarbeiten sind ohne Beeinträchtigung anderer Mitarbeiter auszuführen.	Umstellarbeiten beeinträchtigen andere selten (z.B. zufällig leere Puffer) oder nur 2-3 weitere Personen.	Umstellarbeiten beeinträchtigen andere mit großer Wahrscheinlichkeit (kleine Puffer). Aber max. 4 Personen sind betroffen.	Umstellarbeiten beeinträchtigen immer eine Gruppe von 5-10 Personen.	Umstellarbeiten beeinträchtigen alle Arbeitskräfte eines größeren Systems ($>$ ca. 10 Personen).
Stückzahlflexibilität	Anpassungen an Schwankungen nach oben und unten sind leicht möglich (auch kurzfristig).	Anpassungen an Schwankungen nach oben und unten sind nur in kleinerem Ausmaß möglich.	Anpassungen an Schwankungen sind nur nach unten möglich (ohne wesentliche Zeitveränderung durch Platzwechsel o. ä.).	Anpassungen sind nur nach unten und nur durch Mehrbelastung der Mitarbeiter möglich.	Anpassungen an Schwankungen sind kurzfristig nicht möglich.
Personalflexibilität	Der Ausfall von Mitarbeitern führt zu keinerlei Störungen.	Der Ausfall von Mitarbeitern führt nicht zu Störungen. Die verbleibenden Arbeitskräfte müssen geringfügige Belastungen in Kauf nehmen.	Der Ausfall von Mitarbeitern führt nicht zu Störungen, bringt aber Mehrbelastungen für die verbleibenden MA.	Der Ausfall von Mitarbeitern führt zu Störungen des Arbeitsablaufs, kann aber bewältigt werden.	Die Personenzahl kann nicht verändert werden.
Technische Flexibilität	Technische Änderungen müssen nur an einer Einrichtung durchgeführt werden.	Technische Änderungen müssen an 2 Einrichtungen durchgeführt werden.	Technische Änderungen müssen an 3-4 Einrichtungen durchgeführt werden.	Technische Änderungen müssen an 5-6 Einrichtungen durchgeführt werden.	Technische Änderungen müssen an mehr als 6 Einrichtungen durchgeführt werden.

Gruppe: Umweltbeziehungen

Kriterien \ Teilwerte	$9 \leq x_j \leq 10$ (sehr gut)	$6 \leq x_j \leq 8$ (gut)	$3 \leq x_j \leq 5$ (befriedigend)	$1 \leq x_j \leq 2$ (schlecht)	$x_j = 0$ (sehr schlecht)
Image bei Kunden	Das Image wird wesentlich verbessert.	Das Image wird verbessert.	kein Einfluß	Das Image verschlechtert sich.	Das Image wird wesentlich verschlechtert.
Image bei Arbeitskräften	Das Image wird wesentlich verbessert.	Das Image wird bei wenigen Arbeitskräften verbessert.	kein Einfluß	Das Image bei qualifizierten Arbeitskräften verschlechtert sich.	Das Image verschlechtert sich allgemein.
Image bei der Umwelt	Das Image wird wesentlich verbessert.	Das Image wird geringfügig verbessert.	kein Einfluß	Das Image wird geringfügig schlechter.	Das Image verschlechtert sich allgemein.
Lieferung der Anlagen	Kurzfristig möglich Lieferzeit 4 Wochen.	Lieferzeit 4-8 Wochen.	Lieferzeit 8-12 Wochen	Lieferzeit 12-20 Wochen	Lieferzeit > 1/2 Jahr
Lieferung von Ersatzteilen	Jederzeit auf Lager Lieferzeit 1 Tag.	Kurzfristige Bestellung möglich. Lieferzeit 1 Woche	Lieferzeit 1-2 Wochen	Lieferzeit 2-4 Wochen	Lieferzeit > 4 Wochen
Kundendienst	Sofort erreichbar.	Wartezeit 1-2 Tage	Wartezeit 3-4 Tage	Wartezeit 5-6 Tage	Wartezeit > 1 Woche

titativer Beschreibungen der Zielerträge und deren Zuordnung zu den Zielwerten der Kardinalskala (vgl. oben S. 135 und MERTENS, P., GRIESE, J. (1972, S. 111 ff.)).

3.2.1.4.2. Angabe von Wahrscheinlichkeitsverteilungen

Die Angabe diskreter, subjektiver Wahrscheinlichkeiten [1] für das Eintreten jedes der ermittelten Score-Werte erlaubt die quantitative Behandlung der Unsicherheit.

Zur Angabe der Wahrscheinlichkeiten müssen die Postulate der Wahrscheinlichkeitstheorie (vgl. z.B. YAMANE, T., 1967, S. 96 ff.) Beachtung finden.

Wenn, wie hier, eine Menge einander ausschließender Ereignisse X_1, X_2, X_3 vorliegt, wird jedem Ereignis i eine Wahrscheinlichkeit

$$P(X_i) > 0$$

zugeordnet.
Außerdem muß gelten, daß die Summe der Wahrscheinlichkeiten 1 ist

$$\sum_{i=1}^{3} P(X_i) = 1$$

Die Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten erfolgt in der Praxis durch Befragung des (oder der) Entscheidungsträger.

Man erhält somit je Zielkriterium eine Verteilung wie in Abb. 37 dargestellt.

---

1) Zum Begriff der subjektiven Wahrscheinlichkeit vgl. MENGES, G. (1965) und FISHBURN, P.C. (1964)

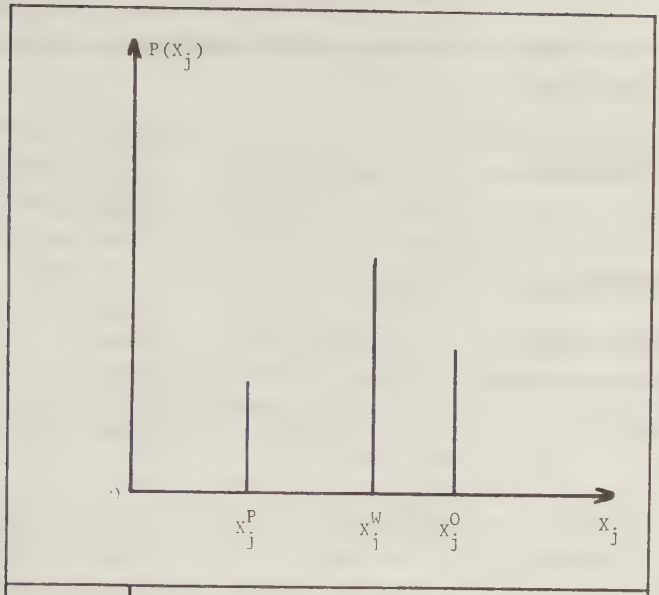


Bild 17 Scoreverteilung des j-ten Zielkriteriums

Tabelle 14 zeigt ein Bewertungsbeispiel aus der Praxis. In Zusammenarbeit mit Planungsingenieuren wurden die angegebenen Zielkriterien gewichtet und eine Variante eines Montagesystems bewertet.

	Gewicht $g_j/10^{-2}$	x_j^p	$P(x_j^p)$	x_j^w	$P(x_j^w)$	x_j^o	$P(x_j^o)$
Quantifizierbare Kriterien	25						
Investitionen	35	5	0,05	8	0,75	9	0,20
Unterhalt (laufende Kosten)	15	5	0,10	7	0,85	9	0,05
Lohn- u. Lohngemeinkosten	25	3	0,30	6	0,60	8	0,10
Taktverluste	10	7	0,10	8	0,60	10	0,30
Springer	10	8	0,10	9	0,50	10	0,40
An- und Umlernen	5	5	0,10	6	0,40	8	0,50
Menschl. Arbeitsbedingungen	15						
Monotonie	20	2	0,10	4	0,60	5	0,30
Disposition, Verantwortung	15	1	0,35	3	0,50	4	0,15
Kommunikation	20	3	0,20	4	0,60	6	0,20
Montage vollständiger Produkte	10			0	1,00	-	-
Gruppenintegration	20	3	0,10	4	0,80	6	0,10
Gleitende Arbeitszeit	15	4	0,20	5	0,60	6	0,20
Arbeitsumfeld	10						
Pausenraum	20	4	0,15	7	0,70	8	0,15
Farbgestaltung	10	4	0,40	5	0,40	7	0,20
Staub u. Lärmeinwirkung	35	2	0,30	5	0,50	5	0,20
Teileanlieferung	20	3	0,20	4	0,60	5	0,20
Raumbedarf	15	4	0,30	6	0,50	7	0,20
Ablaufgestaltung	20						
Ergonomie	50	5	0,30	7	0,60	8	0,10
Teiletransport	20	6	0,20	7	0,70	8	0,10
Überschaubarkeit	20	6	0,15	7	0,60	8	0,25
Quantitativer Teileumlauf	10	2	0,30	4	0,50	5	0,20
Flexibilität	25						
Typenflexibilität	20	6	0,10	7	0,60	8	0,30
Stückzahlflexibilität	30	7	0,10	8	0,80	9	0,10
Personalflexibilität	30	6	0,20	7	0,70	8	0,10
Technische Flexibilität	20	2	0,25	3	0,60	4	0,15
Umweltbeziehungen	5						
Image bei den Kunden	20			4	1,00		
Image bei den Arbeitskräften	30	5	0,25	6	0,50	7	0,25
Image bei der Umwelt	20			6	1,00		
Lieferung der Anlagen	10			5	1,00		
Lieferung von Ersatzteilen	10			7	1,00		
Qualität des Kundendienstes	10			7	1,00		

Tab. 14 Zielsystem mit Gewichtung und Bewertung

3.2.1.4.3. Wertsynthese der Einzelverteilungen

Aus der Menge aller Scoreverteilungen und der, durch die Zielgewichte dargestellten, individuellen Präferenzordnung, kann die Nutzwertverteilung einer Alternative nicht direkt abgelesen werden. Zur Bestimmung dieser Gesamtverteilung unterscheidet ZANGEMEISTER (1971, S. 311) folgende Fälle: [1)]

I. die analytische Bestimmung der Nutzwertverteilung
   (a) die Einzelverteilungen sind normalverteilt
   (b) die Einzelverteilungen sind beliebig verteilt und $M \geq 30$

II. die Approximation der Nutzwertverteilung, falls $M < 30$. (wobei: M Zahl der Einzelverteilungen)

zu I (a): Dieser Fall ist bei der Annahme von nur drei Stützstellen nicht gegeben und auch ohne praktische Bedeutung.
Zu I (b): Ist die Zahl der Zielkriterien $M \geq 30$, so ist aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes, [2)] die Nutzwertverteilung praktisch einer Normalverteilung gleich. Dieser Fall ist von großer Bedeutung und soll unten genauer analysiert werden.
Insbesondere ist die Frage nach der damit verbundenen Abweichung zu untersuchen.

zu II: Falls $M < 30$, weicht die Nutzwertverteilung in der Regel zu stark von der Normalverteilung ab, und ZANGEMEISTER schlägt für diesen Fall den Einsatz der Simulation zur Bestimmung der gesuchten Gesamtverteilung vor. [3)]

---

1) Der folgende Abschnitt ist mit kleinen Veränderungen entnommen aus KLAUSMANN, H.-S. und SCHÖNFELDER, G. (1975, S. 2 ff.)

2) Vgl. z.B. HEINHOLD, J., GAEDE, K.-W. (1972, S. 156 ff.): Ingenieur-Statistik

3) Dieses Vorgehen wird realisiert bei KÖSTLER, R. (1975)

In dieser Arbeit wird gezeigt, daß auch im Fall $M < 30$ die Gesamtverteilung exakt numerisch bestimmbar ist und der erforderliche Rechenaufwand des Algorithmus im Sekundenbereich liegt.

Das Modell von ZANGEMEISTER läßt sich anschaulich und beispielhaft in einer Tabelle zusammenfassen, aus der auch der erforderliche Datenumfang erkennbar wird (Tab. 15).

Zielsystem	rel. Gewichte		j	g_j	X_j^P	$P(X_j^P)$	X_j^W	$P(X_j^W)$	X_j^O	$P(X_j^O)$	
1.0 Technik	0,3										
1.1 Motor		0,8	1	0,24	5	0,1	6	0,6	10	0,3	Σ1,0
1.2 Fahrgestell		0,2	2	0,06	4	0,1	5	0,1	8	0,8	Σ1,0
		Σ1,0									
2.0 Sicherheit	0,7										
	Σ1,0										
2.1 Aktive		0,5	3	0,35	1	0,4	2	0,4	3	0,2	Σ1,0
2.2 Passive		0,5	4	0,35	8	0,5	9	0,4	10	0,1	Σ1,0
		Σ1,0		Σ1,0							

Tabelle 15: Bewertung eines PKW's

In Tabelle 15 ist ein bewußt kleines Beispiel, die Bewertung eines PKW's, dargestellt. Die vier Zielkriterien sind in zwei Gruppen zusammengefaßt, welche jeweils unterschiedlich gewichtet sind. Innerhalb der Gruppen wird ebenfalls gewichtet und außerdem für jedes Kriterium die subjektive Wahrscheinlichkeitsverteilung eingetragen.

Gesucht ist die diskrete Gesamtverteilung $P(Z)$ mit $Z=X_1+\ldots+X_M$ (unter Berücksichtigung aller Einzelverteilungen und Gewichtungen) welche dann ebenfalls im Intervall $0 \leq Z \leq 10$ definiert ist und als eine Beurteilungsgrundlage des Projekts dienen kann.

Ermittlung der Gesamtverteilung falls $M \geq 30$

In diesem Fall genügt die Berechnung von μ und σ der Gesamtverteilung, wodurch eine Normalverteilung definiert wird, welche die tatsächliche diskrete Verteilung sehr gut approximiert.

Mit dem relativen Gewicht des j-ten Kriteriums

$$g_j = \prod_{i=1}^{S} g_{ij}$$

mit S: Zahl der Zielhierarchiestufen
und g_{ij}: relatives Gewicht der i-ten Stufe des j-ten Kriteriums

und dem Erwartungswert des j-ten Kriteriums

$$\mu_j = \sum_{k=1}^{L} P(X_j^{(k)}) \cdot X_j^{(k)}$$

L: Zahl der Stützstellen von $P(X_j)$

erhält man den Erwartungswert der Gesamtverteilung μ_M: [1)]

$$\mu_M = \prod_{j=1}^{M} g_j \mu_j$$

und deren Varianz σ_M^2:

$$\sigma_M^2 = \sum_{j=1}^{M} g_j^2 \sigma_j^2$$

---

1) ZANGEMEISTER, C. (1971, S. 311 ff.)

Man kann nun mit Hilfe der tabellierten Verteilungsfunktion Φ der Standardnormalverteilung alle interessierenden Intervallwahrscheinlichkeiten im Bereich a, b

$$P(a < X_M \leq b) = \Phi\left(\frac{b - \mu_M}{\sigma_M}\right) - \Phi\left(\frac{a - \mu_M}{\sigma_M}\right)$$

berechnen.

Ermittlung der Gesamtverteilung falls M > 30

ZANGEMEISTER schlägt in diesem Fall die Simulation als Lösungsmethode vor, da die Zahl der möglichen Kombinationen mit M stark ansteigt. Unterstellt man jeweils drei Stützstellen der Einzelverteilungen, so ergeben sich

$$K = 3^M$$

Kombinationen, aus denen mit Hilfe der Simulation eine Stichprobe $v' < K$ zu ziehen ist.
Ist z.B. M = 20, so existieren bereits $K = 3{,}5 \cdot 10^9$ mögliche Kombinationen, so daß deren vollständige Berechnung nicht mehr möglich ist. Im Beispiel der Tabelle 1 existieren ebenfalls schon 81 Kombinationen, welche mit Hilfe des folgenden stochastischen Baumes dargestellt werden können (Abb. 38).

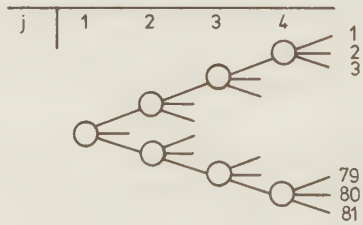


Abb. 38 Baum zur Darstellung der möglichen Kombinationen

Die Kantenbewertung des Baumes, unter Berücksichtigung der Gewichte, ist hierbei für das j-te Ziel in Abb. 38 dargestellt:

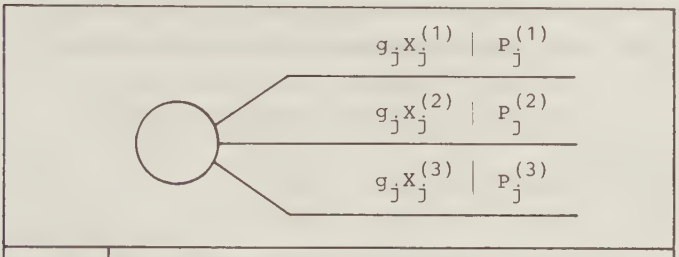


Abb. 39 Kantenbewertung des Baumes der Abb. 38

Jeder zufällig gewählte Pfad durch den Baum der Abb. 2 stellt eine von 81 möglichen Realisationen der Zufallsvariable $Z = X_1 + \ldots + X_M$ der Gesamtverteilung dar, d.h. es gilt für jeden Pfad n unter Berücksichtigung der Gewichte g_j

$$Z^{(n)} = \sum_{j=1}^{M} g_j X_j^{(k)},$$ wobei k zufällig aus 1,2,...L gewählt ist. L: Zahl der Stützstellen

und

$$P_M^{(n)}(Z) = \prod_{j=1}^{M} P(X_j^{(k)})$$

Sind alle K Pfade berechnet, so liegt auch die spezielle Verteilung $P_M(Z)$ fest. Im Fall der Simulation wird nur eine hinreichende Stichprobe aus K gezogen, und man erhält eine Schätzverteilung für $P_M(Z)$. Soweit der Vorschlag von ZANGEMEISTER.

Im folgenden soll nun gezeigt werden, daß mit Hilfe des Faltungssatzes für diskrete Zufallsvariable auch der Fall $M > 30$ numerisch exakt zu behandeln ist.

Numerische Bestimmung der Nutzwertverteilung

Der Faltungssatz für diskrete Verteilungen

Unter der Faltung zweier diskreter Wahrscheinlichkeitsverteilungen [1] $P_1(X)$ und $P_2(Y)$ versteht man die Verteilung $P_3(Z)$, wobei $P_3(Z)$ die Verteilung der Zufallsvariablen $Z = X+Y$ darstellt.
Kennt man $P_1(X)$ und $P_2(Y)$, so ist $P_3(Z)$ mit

$$P_3(Z=z) = \sum_{X_i=x_{min}}^{X_{max}} P_1(X_i)\ P_2(z-X_i)$$

für alle möglichen z zu bestimmen.

Die gewonnene Verteilung kann dann erneut mit einer weiteren gefaltet werden, so daß auf diese Weise die Gesamtverteilung einer endlichen Zahl von Einzelverteilungen rekursiv bestimmt werden kann.
Betrachtet man nun Abb. 38, so erkennt man, daß das Problem der Bestimmung der Gesamtverteilung mit der Problemstellung der Faltung identisch ist. Gesucht ist die Verteilung

$$P_M(Z) = P(X_1+\ldots+X_M)$$

welche rekursiv wie folgt errechnet werden kann:

$$P_2(Z) = f(P_1(X) + P_2(X))$$

$$P_3(Z) = f(P_2(Z) + P_3(X))$$

$$\vdots$$

$$P_M(Z) = f(P_{M-1}(Z) + P_M(X))$$

---

1) Vgl. z.B. RENYI, A. (1973, S. 111)

Die gesuchte Verteilung ist also iterativ nach M-1 Faltungen gefunden.

Die Faltung der Verteilungen von $X_1 + X_2 + X_3$ und X_4 ergibt schließlich folgende Rechnung (Tab. 16):

$(X_1+X_2+X_3)$	P( )	(X_4)	P( )	I		II		III	
				(Z)	$P_M(Z) \cdot 10^{-3}$	(Z)	$P_M(Z) \cdot 10^{-3}$	(Z)	$P_M(Z) \cdot 10^{-3}$
1,79	0,004	2,8	0,5 -I	4,59	2	4,94	1,6	5,29	0,4
1,85	0,004	3,15	0,4 -II	4,65	2	5,00	1,6	5,35	0,4
2,03	0,056	3,5	0,1 -III	4,83	28	5,18	22,4	5,53	5,6
2,09	0,024		1,0	4,89	12	5,24	9,6	5,59	2,4
2,14	0,004			4,94	2	5,29	1,6	5,64	0,4
2,20	0,004			5,00	2	5,35	1,6	5,70	0,4
2,27	0,192			5,07	96	5,42	76,8	5,77	19,2
2,38	0,056			5,18	28	5,53	22,4	5,88	5,6
2,44	0,024			5,24	12	5,59	9,6	5,94	2,4
2,49	0,002			5,29	1	5,64	0,8	5,99	0,2
2,55	0,002			5,35	1	5,70	0,8	6,05	0,2
2,62	0,192			5,42	96	5,77	76,8	6,12	19,2
2,73	0,028			5,53	14	5,88	11,2	6,23	2,8
2,79	0,012			5,59	6	5,94	4,8	6,29	1,2
2,97	0,096			5,77	48	6,12	38,4	6,47	9,6
2,99	0,012			5,79	6	6,14	4,8	6,49	1,2
3,05	0,012			5,85	6	6,20	4,8	6,55	1,2
3,23	0,096			6,03	48	6,38	38,4	6,73	9,6
3,34	0,012			6,14	6	6,49	4,8	6,84	1,2
3,40	0,012			6,20	6	6,55	4,8	6,90	1,2
3,58	0,096			6,38	48	6,73	38,4	7,08	9,6
3,69	0,006			6,49	3	6,84	2,4	7,19	0,6
3,75	0,006			6,55	3	6,90	2,4	7,25	0,6
3,93	0,048			6,73	24	7,08	19,2	7,43	4,8
	1,000								

Tab. 16 Berechnung der 3.ten Faltung

Bei der 3.ten Faltung zeigt sich, daß die auftretenden Zufallsvariablen häufig zusammenfielen [1] (angedeutet durch verbindende Linien), so daß die Summenverteilung stark zusammengefaßt werden kann, wobei die entsprechenden Wahrscheinlichkeiten nach dem Additionssatz für unabhängige Erzeugnisse zu addieren sind.

Berechnung der Gesamtverteilung des Beispiels

Nun kann das Beispiel von Seite 148 gelöst werden.

1. Schritt

Die x_j der Verteilungen sind mit den g_j zu gewichten.

Man erhält:

j	$(g_j x_j^P)$	P( )	$(g_j x_j^W)$	P( )	$(g_j x_j^O)$	P( )
1	1,2	0,1	1,44	0,6	2,4	0,3
2	0,24	0,1	0,3	0,1	0,48	0,8
3	0,35	0,4	0,7	0,4	1,05	0,2
4	2,8	0,5	3,15	0,4	3,5	0,1

Tab. 17 Einzelverteilungen gewichtet

2. Schritt

Es werden nun zuerst die Verteilungen j = 1 und j = 2 gefaltet. Da Z = X + Y zwischen $z_{min} = x_{min} + y_{min}$ und $z_{max} = x_{max} + y_{max}$ definiert ist, erhält man die Summenverteilungen der ersten beiden Verteilungen der Tab. 17:

1) Dies ist der Grund, warum mit steigendem M die Faltung wesentlich weniger Rechenschritte benötigt, als die vollständige Enumeration.

$P(Z=1{,}44)$	$= P_1(1{,}2)\cdot P_2(0{,}24)$	=	0,01
$P(Z=1{,}5)$	$= P_1(1{,}2)\cdot P_2(0{,}3)$	=	0,01
$P(Z=1{,}68)$	$= P_1(1{,}2)\cdot P_2(0{,}48)$	= 0,08	
$P(Z=1{,}68)$	$= P_1(1{,}44)\cdot P_2(0{,}24)$	= 0,06	
		0,14	0,14
$P(Z=1{,}74)$	$= P_1(1{,}44)\cdot P_2(0{,}3)$	=	0,06
$P(Z=1{,}92)$	$= P_1(1{,}44)\cdot P_2(0{,}48)$	=	0,48
$P(Z=2{,}64)$	$= P_1(2{,}4)\cdot P_2(0{,}24)$	=	0,03
$P(Z=2{,}7)$	$= P_1(2{,}4)\cdot P_2(0{,}3)$	=	0,03
$P(Z=2{,}88)$	$= P_1(2{,}4)\cdot P_2(0{,}48)$	=	0,24
			1,00

Die gewonnene Verteilung wird nun mit der 3.ten Verteilung aus Tab. 17 gefaltet. Hierzu wird, um die Rechnung übersichtlicher zu gestalten, folgende Tabelle eingeführt.

				I		II		III	
(X_1+X_2)	$P(\ )$	(X_3)	$P(\ )$	$(X_1+X_2+X_3)$	$P(\ )\cdot 10^{-3}$	$(X_1+X_2+X_3)$	$P(\ )\cdot 10^{-3}$	$(X_1+X_2+X_3)$	$P(\ )\cdot 10^{-3}$
1,44	0,01	0,35	0,4 → I	1,79	4	2,14	4	2,49	2
1,50	0,01	0,70	0,4 → II	1,85	4	2,2	4	2,55	2
1,68	0,14	1,05	0,2 → III	2,03	56	2,38	56	2,73	28
1,74	0,06		1,0	2,09	24	2,44	24	2,79	12
1,92	0,48			2,27	192	2,62	192	2,97	96
2,64	0,03			2,99	12	3,34	12	3,69	6
2,70	0,03			3,05	12	3,40	12	3,75	6
2,88	0,24			3,23	96	3,58	96	3,93	48
	1,00								

Tab. 18 Berechnung der 2.ten Faltung

Faßt man entsprechend zusammen, so erhält man die Gesamtverteilung für $Z = X_1+X_2+X_3+X_4$ (Tab. 19).

Z	$P_M(Z)$	$F_M(Z)$	Z	$P_M(Z)$	$F_M(Z)$
4,59	0,0020	0,0020	5,94	0,0072	0,6404
4,65	0,0020	0,0040	5,99	0,0002	0,6404
4,83	0,0280	0,0320	6,03	0,0480	0,6886
4,89	0,0120	0,0440	6,05	0,0002	0,6888
4,94	0,0036	0,0476	6,12	0,0576	0,7464
5,00	0,0036	0,0512	6,14	0,0108	0,7572
5,07	0,0960	0,1472	6,20	0,0108	0,7680
5,18	0,0504	0,1976	6,23	0,0028	0,7708
5,24	0,0216	0,2192	6,29	0,0012	0,7720
5,29	0,0030	0,2222	6,38	0,0864	0,8584
5,35	0,0030	0,2252	6,47	0,0096	0,8680
5,42	0,1728	0,3980	6,49	0,0090	0,8770
5,53	0,0420	0,4460	6,55	0,0090	0,8860
5,59	0,0180	0,4580	6,73	0,0720	0,9580
5,64	0,0012	0,4592	6,84	0,0036	0,9616
5,70	0,0012	0,4604	6,90	0,0036	0,9652
5,77	0,1440	0,6044	7,08	0,0288	0,9940
5,79	0,0060	0,6104	7,19	0,0006	0,9946
5,85	0,0060	0,6164	7,43	0,0048	1,0000
5,88	0,0168	0,6332			

Tab. 19 Gesamtverteilung der Scores

Zur Darstellung in Form eines Histogrammes wurden in diese Fall 21 Klassen gebildet und jeweils die Klassenmitten als Argument benutzt. Die so verdichtete Gesamtverteilung der Scores ist in Abb. 40 dargestellt, wobei der Kurvenverlauf durch Sterne angegeben ist.

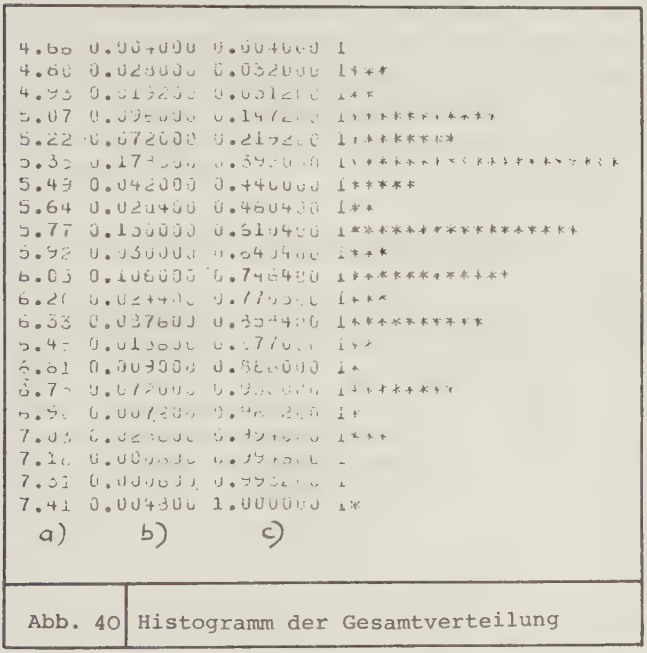


Abb. 40	Histogramm der Gesamtverteilung

Spalte a: Klassenmitte $\overline{Z}$

Spalte b: Wahrscheinlichkeit $P(\overline{Z})$

Spalte c: Kum. Wahrscheinlichkeit $F(\overline{Z})$

RMY : Erwartungswert

SIGM : Standardabweichung

Man erkennt in Abb. 40 deutlich, daß die vorliegende Scoreverteilung nicht durch eine Normalverteilung approximiert werden kann (bei M=4 ist dies auch nicht zu erwarten).
Bei diesem kleinen Beispiel ist der Rechenaufwandsunterschied zwischen Faltung und vollständiger Enumeration noch nicht sehr groß. Es waren 72 Kombinationen, statt 81 bei vollständiger Enumeration, zu bilden. Aber schon bei M=5 würden in diesem Beispiel nur 120 statt 243 auszuführen sein. Hinzu kommt, daß die notwendigen Rechenoperationen sehr einfach programmierbar sind.

Algorithmus der diskreten Faltung

a) Felddefinitionen und Speichertechnik

Inputfelder								Outputfeld			
1. Verteilung				2. Verteilung				Ergebnisverteilung			
P1	1	...	N1	P2	1	...	N2	P3	1	...	1001
X1	1	...	N1	X2	1	...	N2				

```
INTEGER X1, X2
REAL    P1, P2, P3
```

Da eine diskrete Verteilung aus einer endlichen Zahl von Stützstellen besteht, werden nur diese gespeichert. Die Felder X1, X2 enthalten dabei zu Beginn die sortierten X-Werte der ersten beiden Verteilungen, entsprechend enthalten die Felder P1, P2 die dazugehörigen Wahrscheinlichkeitswerte. Da die Scores nur im Bereich 0 bis 10,00 liegen können und zwei Dezimalstellen ausreichen, definiert man die X-Felder INTEGER also ganzzahlig und rechnet in Hundertstel Scores, also $0 \leq X_i \leq 1000$. Die P-Felder sind als Gleitkomma-Felder definiert (REAL) und enthalten die Wahrscheinlichkeitswerte.

Im Falle des Beispiels wäre der Anfangsinhalt der Input-Felder somit folgender:

P1	0,1	0,6	0,3
X1	120	144	240

P2	0,1	0,1	0,8
X2	24	30	48

Die Ergebnisverteilung wird dagegen in nur einem Feld P3 gespeichert, wobei der Index (1 ... 1001) den Scorewert plus Eins der Verteilung, der Inhalt des Feldes die Wahrscheinlichkeit dieses Scores darstellt. Der Grund wird weiter unten deutlich.

b) Ablaufdiagramm der diskreten Faltung

Dieses kann nun wie folgt angegeben werden (Abb. 41):

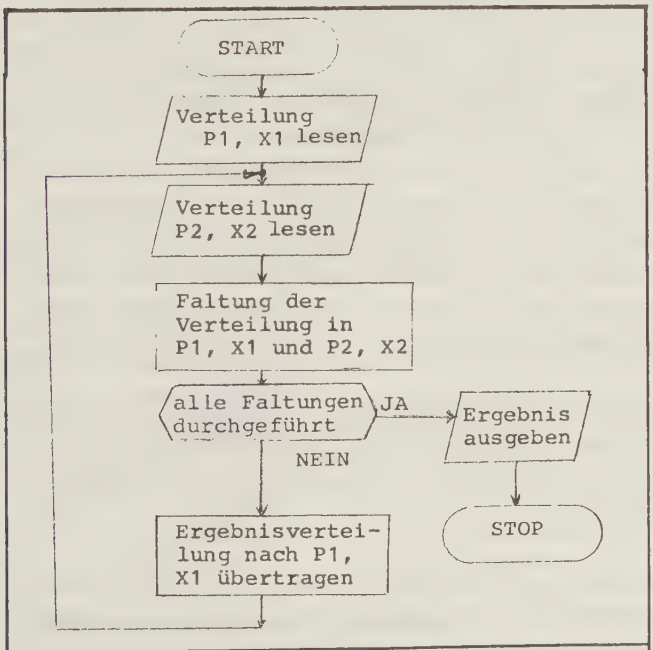


Abb. 41 Ablauf der diskreten Faltung

c) Der Programmteil Faltung

Im obigen Ablaufdiagramm (Abb. 41) interessiert hier lediglich der Teil Faltung, der in FORTRAN einfach wie folgt realisiert werden kann:

```
Zeile  C   FALTUNG VON P1, X1 MIT  P2, X2
  (1)      DO 10 I = 1,N1
  (2)      DO 10 J = 1,N2
  (3)      K = X1(I) + X2(J) + 1
  (4)  10  P3(K) = P3(K) + P1(I) + P2(J)
```

Bei jeder Faltung wird also die Zeile drei und vier N1 * N2 mal durchlaufen, wobei N1 und N2 die Zahl der Stützstellen der in P1,X1 und P2,X2 gespeicherten Verteilungen enthalten. In Zeile drei wird der Score-Wert der jeweiligen Kombination errechnet, der unter den getroffenen Voraussetzungen zwischen 1 und 1001 liegt. In Zeile vier wird die Ergebnisverteilung bestimmt, wobei das Produkt der Wahrscheinlichkeiten von P1(I) und P2(J) im Feldelement P3(K) kumuliert wird. Hierdurch erreicht man ohne Sortiervorgang, daß die Wahrscheinlichkeiten aller Score-Kombinationen, die ein bestimmtes K ergeben, in P3(K) richtig zusammengefaßt sind. Falls nach Durchlaufen der Faltung noch weitere Verteilungen zu berücksichtigen sind, wird die Verteilung in P3 an jeder Stützstelle nach P1,X1 übertragen und P3 auf Null gesetzt.

Der Rechenzeitbedarf des beschriebenen Verfahrens ist gering. Beispielsweise wurde ein Problem mit 35 Verteilungen (jeweils drei Stützstellen) in 4,0 CPU Sekunden auf einer CD 3300-Anlage gerechnet.

Anhand des Beispiels aus Tabelle 14 wird in Abb. 42 gezeigt, wie über einige der im Faltungsalgorithmus ermittelten Zwischenergebnisse die Gesamtverteilung erreicht wird.

3.2.1.5. Auswahl der günstigsten Alternative

Das Vorgehen zur Auswahl der günstigsten Alternative soll an einem Beispiel erläutert werden. Zusätzlich zu der in Tabelle 14 dargestellten Alternative wurden 4 konkurrierende Organisationsformen bewertet. Zielsystem und Gewichtung bleiben konstant, da diese Größen, unabhängig vom betrachteten Einzelfall, das Wertsystem des Entscheidungsträgers repräsentieren. Geändert werden ausschließlich die Score-Werte X_j und Schätzwahrscheinlichkeiten $P(X_j)$. (Auf die Darstellung der vollständigen Bewertungstabellen wird verzichtet, lediglich die Endverteilungen werden angegeben: siehe Abb. 43-46.)

Nach Faltung[1] der angegebenen Einzelverteilungen (Algorithmus: siehe oben Abb. 41) erhält man die Gesamtverteilungen der Nutzwerte (siehe Abb. 43 bis 46). In allen Fällen wurde annähernd eine Normalverteilung erreicht, was, bei hier jeweils 30 Faltungen, aufgrund des zentralen Grenzwertsatzes zu erwarten war.

Mit Hilfe der charakteristischen Werte dieser Verteilungen kann nun die Auswahlentscheidung getroffen werden.

Normalverteilungen werden durch Angabe von Mittelwert (μ) und Standardabweichungen (σ) vollständig beschrieben, so daß allein aufgrund dieser Werte eine Ordnung der Alternativen gefunden werden kann. Der Mittelwert gibt den Nutzwert an, der in 50 % aller Fälle mindestens erreicht wird. Die Standardabweichung ist das Maß für die Streuung der Nutzwerte um dieses Mittel. Im Bereich $\mu \pm 1\sigma$ liegen ca. 68 % aller (Nutzwert-) Realisationen.

---

1) Die Unterprogramme zur Durchführung der Faltungen (FALT) und zum Ausdruck der Ergebnisse (DRUCKEN) wurden von H.S. KLAUSMANN erstellt.

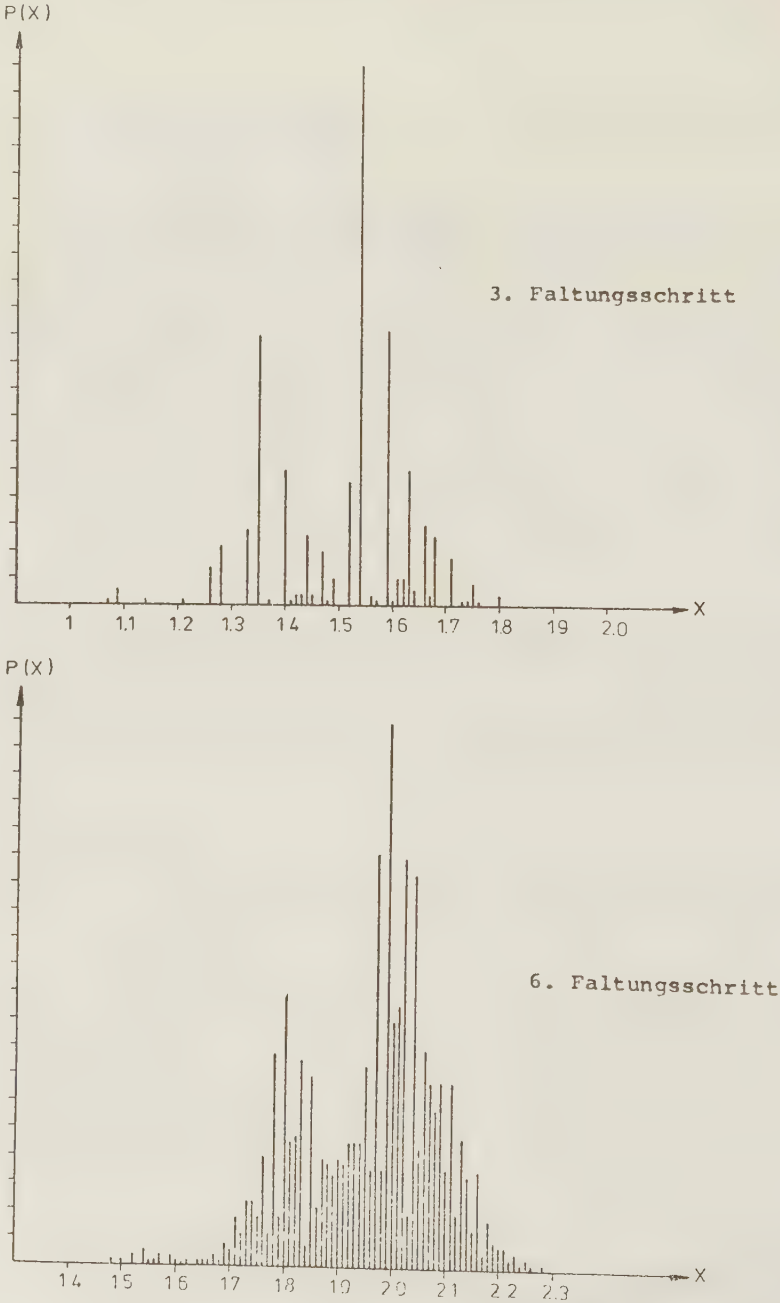
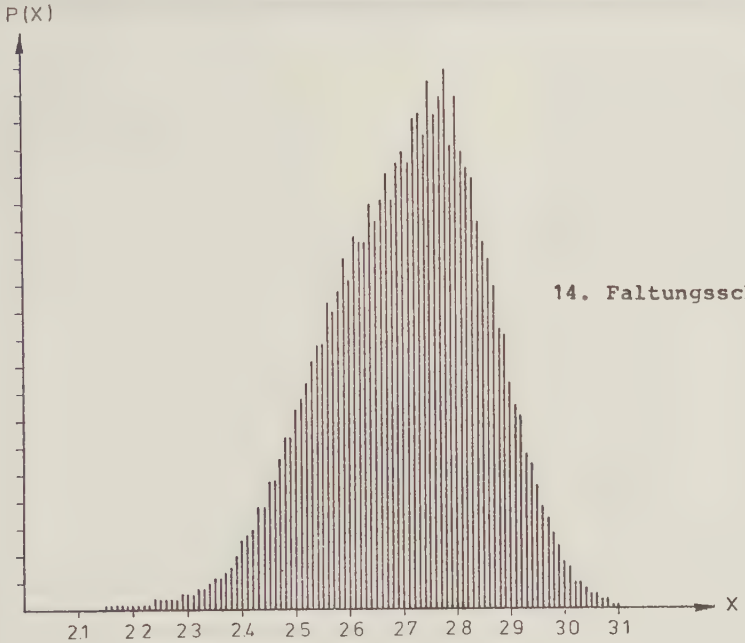
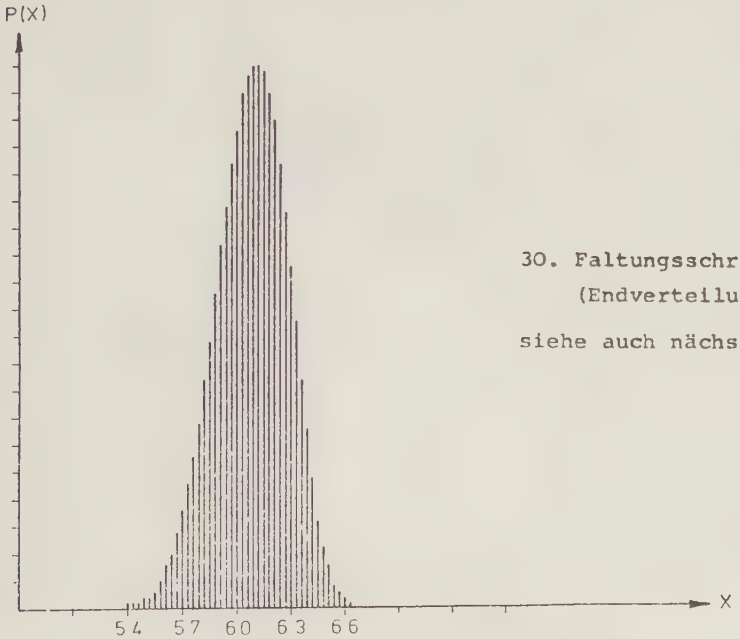


Abb. 42 Darstellung ausgewählter Faltungsschritte



14. Faltungsschritt



30. Faltungsschritt
(Endverteilung)

siehe auch nächste Seite

Abb. 42 (Fortsetzung)	Darstellung ausgewählter Faltungsschritte

```
X        P(X)       F(X)

5.31  0.000116  0.000281  I
5.34  0.000179  0.000460  I
5.37  0.000271  0.000731  I
5.40  0.000401  0.001132  I
5.43  0.000585  0.001717  I
5.46  0.000849  0.002566  I*
5.49  0.001224  0.003790  I0
5.52  0.001751  0.005541  I0
5.55  0.002480  0.008021  I0*
5.58  0.003458  0.011479  I*0
5.61  0.004736  0.016215  I**0
5.64  0.006355  0.022571  I***0
5.67  0.008348  0.030919  I****0*
5.70  0.010741  0.041659  I******0
5.73  0.013549  0.055208  I********0
5.76  0.016789  0.071997  I***********0
5.79  0.020470  0.092468  I**************0
5.82  0.024575  0.117043  I*****************0
5.85  0.029068  0.146111  I*********************0
5.88  0.033854  0.179965  I************************ 0
5.91  0.038760  0.218725  I***************************** 0
5.94  0.043567  0.262292  I******************************** 0
5.97  0.047997  0.310289  I*********************************** 0
6.00  0.051790  0.362079  I************************************** 0
6.03  0.054752  0.416831  I*************************************** 0
6.06  0.056773  0.473603  I**************************************** 0
6.09  0.057839  0.531443  I*****************************************0
6.12  0.057948  0.589391  I*****************************************0
6.15  0.057072  0.646463  I*****************************************0
6.18  0.055159  0.701621  I*************************************0**
6.21  0.052111  0.753733  I*********************************0***
6.24  0.047952  0.801685  I*******************************0***
6.27  0.042830  0.844515  I***************************0****
6.30  0.036993  0.881507  I**********************0***
6.33  0.030843  0.912350  I*******************0**
6.36  0.024799  0.937149  I****************0*
6.39  0.019203  0.956352  I************0
6.42  0.014312  0.970665  I*********0
6.45  0.010269  0.980933  I*******0
6.48  0.007091  0.988025  I*****0
6.51  0.004712  0.992736  I***0
6.54  0.003012  0.995748  I**0          0 : Normalverteilung
6.57  0.001852  0.997600  I*0
6.60  0.001095  0.998695  I0
6.63  0.000622  0.999317  I0
6.66  0.000339  0.999657  I0
6.69  0.000178  0.999834  I
6.72  0.000089  0.999923  I
6.75  0.000043  0.999966  I
6.78  0.000020  0.999986  I
6.81  0.000009  0.999994  I
6.84  0.000004  0.999998  I

PSUM = 1.000000 : Kontrollsumme
RMY =    6.000  : Mittelwert
SIGM =     0.201 : Standardabweichung
```

Abb. 42 (Fortsetzung)	Darstellung ausgewählter Faltungsschritte

```
 X      P(X)      F(X)

4.30 0.000160 0.000124 I
4.37 0.000110 0.000233 I
4.44 0.000194 0.000427 I
4.51 0.000332 0.000760 I
4.58 0.000552 0.001311 I
4.65 0.000888 0.002200 I*
4.72 0.001388 0.003588 I0
4.79 0.002107 0.005695 I0
4.86 0.003106 0.008801 I*0
4.93 0.004452 0.013252 I**0
5.00 0.006209 0.019462 I***0
5.07 0.008436 0.027897 I****0*
5.14 0.011171 0.039068 I******0
5.21 0.014429 0.053497 I*******0*
5.28 0.018191 0.071689 I***********0
5.35 0.022406 0.094094 I*************0
5.42 0.026993 0.121087 I*****************0
5.49 0.031850 0.152937 I*********************0
5.56 0.036848 0.189786 I************************0
5.63 0.041827 0.231613 I*****************************0
5.70 0.046536 0.278209 I********************************0
5.77 0.050939 0.329147 I*********************************** 0
5.84 0.054641 0.383788 I************************************** 0
5.91 0.057506 0.441294 I*************************************** 0
5.98 0.059379 0.500674 I**************************************** 0
6.05 0.060131 0.560805 I*****************************************0
6.12 0.059653 0.620458 I*****************************************0*
6.19 0.057868 0.678326 I****************************************0*
6.26 0.054768 0.733094 I***************************************0*
6.33 0.050448 0.783541 I*****************************************0***
6.40 0.045129 0.828671 I****************************************0**
6.47 0.039140 0.867811 I***************************************0**
6.54 0.032873 0.900684 I**************************************0**
6.61 0.026719 0.927403 I*************************0*
6.68 0.021009 0.948413 I*********************0*
6.75 0.015977 0.964389 I****************0*
6.82 0.011748 0.976137 I***********0
6.89 0.008351 0.984488 I*********0          O : Normalverteilung
6.96 0.005737 0.990226 I*****0
7.03 0.003809 0.994034 I***0
7.10 0.002442 0.996476 I**0
7.17 0.001512 0.997988 I0
7.24 0.000903 0.998891 I0
7.31 0.000520 0.999411 I0
7.38 0.000288 0.999699 I
7.45 0.000153 0.999852 I
7.52 0.000078 0.999930 I
7.59 0.000038 0.999969 I

PSUM = 1.000000 : Kontrollsumme
MAY =    5.999   : Mittelwert
SIGM =     0.454 : Standardabweichung
```

Abb. 43 | Endverteilung Alternative 2

```
 X        P(X)       F(X)

3.00  0.000145  0.000347 I
3.07  0.000233  0.000579 I
3.16  0.000364  0.000944 I
3.23  0.000557  0.001500 I
3.31  0.000831  0.002332 I0
3.40  0.001214  0.003546 I0
3.47  0.001734  0.005280 I0
3.56  0.002428  0.007708 I*0
3.64  0.003331  0.011039 I*0*
3.71  0.004483  0.015523 I**0
3.80  0.005922  0.021444 I***0
3.88  0.007680  0.029125 I****0*
3.95  0.009786  0.038911 I*****0
4.04  0.012255  0.051166 I********0
4.11  0.015039  0.066256 I**********0
4.19  0.018273  0.084529 I*************0
4.28  0.021772  0.106301 I****************0
4.35  0.025527  0.131828 I*******************0
4.43  0.029461  0.161289 I************************0
4.52  0.033474  0.194763 I***************************0
4.59  0.037447  0.232211 I******************************** 0
4.68  0.041249  0.273459 I********************************** 0
4.76  0.044738  0.318197 I*************************************0
4.83  0.047771  0.365968 I*************************************** 0
4.92  0.050213  0.416181 I*****************************************0
5.00  0.051942  0.468122 I******************************************0
5.07  0.052859  0.520982 I*******************************************0
5.16  0.052900  0.573882 I*******************************************0
5.24  0.052037  0.625920 I******************************************0
5.31  0.050287  0.676206 I*****************************************0*
5.40  0.047715  0.723917 I***************************************0*
5.48  0.044411  0.768328 I*************************************0**
5.55  0.040532  0.808860 I*********************************0**
5.64  0.036241  0.845102 I***************************0*
5.72  0.031722  0.876824 I**********************0**
5.79  0.027160  0.903984 I******************0**
5.88  0.022726  0.926710 I****************0*
5.96  0.018569  0.945279 I************0*
6.03  0.014802  0.960081 I***********0
6.11  0.011499  0.971580 I********0
6.20  0.008699  0.980279 I******0
6.27  0.006435  0.986678 I****0
6.35  0.004574  0.991253 I***0
6.44  0.003172  0.994425 I**0
6.51  0.002132  0.996557 I*0
6.59  0.001386  0.997944 I0
6.68  0.000871  0.998814 I0
6.75  0.000527  0.999342 I0
6.83  0.000307  0.999649 I
6.92  0.000172  0.999821 I
6.99  0.000092  0.999913 I
7.07  0.000047  0.999959 I

PSUM = 1.000000 : Kontrollsumme
AMY =    5.068  : Mittelwert
SIGM =     .593 : Standardabweichung
```

O : Normalverteilung

Abb. 44 Endverteilung Alternative 3

```
 X        P(X)       F(X)

3.01  0.000185  0.000460 I
3.08  0.000289  0.000749 I
3.15  0.000439  0.001188 I
3.22  0.000653  0.001841 I
3.29  0.000950  0.002791 I*
3.36  0.001355  0.004146 I0
3.43  0.001896  0.006042 I0
3.50  0.002606  0.008649 I0*
3.57  0.003521  0.012169 I*0*
3.64  0.004677  0.016847 I**0
3.71  0.006114  0.022960 I***0
3.78  0.007866  0.030826 I****0*
3.85  0.009964  0.040790 I******0
3.92  0.012431  0.053220 I********0
3.99  0.015275  0.068495 I**********0
4.06  0.018492  0.086987 I*************0
4.13  0.022055  0.109041 I****************0
4.20  0.025919  0.134960 I*******************0
4.27  0.030015  0.164975 I********************* 0
4.34  0.034250  0.199224 I************************  0
4.41  0.038510  0.237735 I***************************** 0
4.48  0.042657  0.280391 I******************************  0
4.55  0.046536  0.326927 I*********************************  0
4.62  0.049974  0.376901 I************************************ 0
4.69  0.052798  0.429700 I*************************************0
4.76  0.054836  0.484535 I**************************************0
4.83  0.055934  0.540469 I***************************************0
4.90  0.055978  0.596447 I***************************************0*
4.97  0.054903  0.651350 I**************************************0*
5.04  0.052713  0.704063 I*************************************0***
5.11  0.049482  0.753545 I*********************************0**
5.18  0.045359  0.798903 I******************************0**
5.25  0.040555  0.839459 I***************************0***
5.32  0.035324  0.874783 I**********************0**
5.39  0.029938  0.904721 I******************0**
5.46  0.024658  0.929378 I***************0**
5.53  0.019712  0.949090 I************0*
5.60  0.015275  0.964365 I**********0
5.67  0.011457  0.975823 I*******0
5.74  0.008307  0.984129 I*****0
5.81  0.005811  0.989940 I****0
5.88  0.003916  0.993856 I***0
5.95  0.002537  0.996393 I**0
6.02  0.001577  0.997970 I*0
6.09  0.000938  0.998908 I0
6.16  0.000532  0.999440 I0
6.23  0.000287  0.999727 I0
6.30  0.000147  0.999874 I
6.37  0.000071  0.999945 I
6.44  0.000032  0.999978 I
6.51  0.000014  0.999992 I

PSUM = 1.000000 : Kontrollsumme
RMY =    4.792  : Mittelwert
SIGM =     0.496 : Standardabweichung
```

O : Normalverteilung

Abb. 45	Endverteilung Alternative 4

```
  X      P(X)       F(X)

3.82  0.000219  0.000626 I
3.86  0.000324  0.000950 I
3.91  0.000474  0.001424 I
3.94  0.000683  0.002107 I
3.98  0.000973  0.003080 I*
4.03  0.001366  0.004446 I*
4.06  0.001895  0.006341 I0
4.10  0.002596  0.008937 I0*
4.15  0.003512  0.012449 I*0
4.18  0.004692  0.017142 I*0*
4.22  0.006192  0.023334 I**0*
4.27  0.008071  0.031405 I****0
4.31  0.010392  0.041797 I*****0
4.34  0.013215  0.055011 I********0
4.39  0.016592  0.071603 I**********0
4.43  0.020559  0.092162 I************0
4.46  0.025119  0.117281 I***************0
4.51  0.030232  0.147513 I******************0
4.55  0.035793  0.183306 I*********************0
4.58  0.041622  0.224928 I**************************0
4.63  0.047466  0.272388 I*****************************0
4.67  0.052978  0.325366 I*********************************0
4.70  0.057799  0.383165 I**********************************0
4.75  0.061538  0.444702 I*************************************0
4.79  0.063854  0.508557 I**************************************0*
4.82  0.064501  0.573058 I***************************************0**
4.86  0.063364  0.636421 I****************************************0**
4.91  0.060485  0.696907 I*****************************************0***
4.94  0.056063  0.752970 I******************************************0***
4.98  0.050425  0.803395 I*******************************************0**
5.03  0.043983  0.847378 I********************************************0**
5.06  0.037186  0.884564 I**********************************************0*
5.10  0.030459  0.915023 I*************************************************0*
5.15  0.024158  0.939181 I**************************************************0
5.19  0.018545  0.957726 I***************************************************0
5.23  0.013771  0.971497 I*****************************************************0
5.26  0.009886  0.981383 I******************************************************0
5.30  0.006855  0.988238 I*******************************************************0
5.34  0.004586  0.992824 I*********************************************************0
5.39  0.002957  0.995781 I**********************************************************0
5.43  0.001834  0.997615 I***********************************************************0
5.47  0.001092  0.998706 I************************************************************0
5.50  0.000623  0.999329 I*************************************************************0
5.54  0.000339  0.999668 I
5.58  0.000176  0.999844 I
5.63  0.000087  0.999931 I
5.67  0.000040  0.999971 I
5.71  0.000018  0.999989 I

PSUM = 1.000000  : Kontrollsumme
RMY =    4.788   : Mittelwert
SIGM =    0.254  : Standardabweichung
```

O : Normalverteilung

Abb. 46 Endverteilung Alternative 5

Eine den Vorstellungen des Entscheidungsträgers entsprechende Verknüpfung von μ und σ ist also erforderlich, um die endgültige Auswahl treffen zu können. Als operationale Verknüpfungsregel schlägt FÖRSTNER, K. (1958, S. 165 ff.) [1] eine Linearkombination aus μ und σ vor:

$$Z^* = \mu + \lambda \cdot \sigma \qquad \rightarrow \max.$$

Der Parameter λ besagt, "in welcher Weise die Unternehmung in ihrer Präferenzskala die Unsicherheit relativ zur Erwartung bewertet" (FÖRSTNER, K., 1958, S. 165) [2]. Ein risikoscheuer Entscheidungsträger wird $\lambda < 0$ wählen. Ein Wert von λ in der Nähe von Null dagegen schaltet den Einfluß der Streuung auf die Entscheidung fast völlig aus.

Je nach Risikopräferenz des Entscheidungsträgers kann also eine Alternative mit geringfügig höherem Mittelwert, verbunden mit einer großen Standardabweichung, weniger interessant sein, als die Alternative mit niedrigerem Erwartungswert und geringerer Standardabweichung oder umgekehrt.

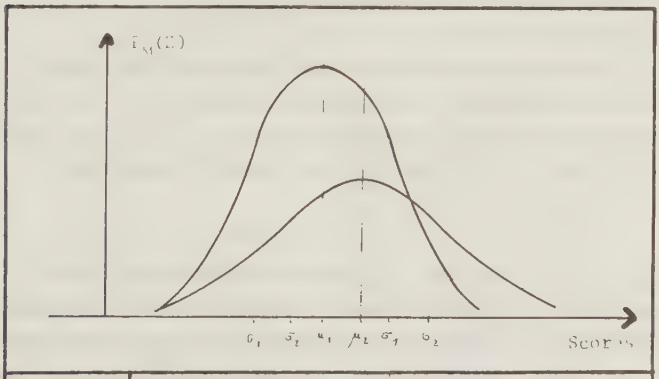


Abb. 47	Mögliche Entscheidungssituation

1) Zitiert nach HEINEN, E. (1966, S. 171)

2) Zitiert nach HEINEN, E. (1966, S. 172)

In einer Entscheidungssituation wie in Abb. 47 dargestellt wird ein risikofreudiger Entscheidungsträger die Alternative 2 vorziehen, da die Chance besteht, einen höheren Nutzwert zu erreichen als bei Wahl der Alternative 1. Allerdings besteht auch das Risiko des Eintretens schlechterer Werte im $(\mu_2 \pm 1\,\sigma_2)$ Bereich als im $(\mu_1 \pm 1\,\sigma_1)$ Bereich.

Im obigen Bewertungsbeispiel muß eine der 5 Alternativen aufgrund der errechneten Werte für μ und σ ausgewählt werden.

Alternative	μ	σ
1	6.080	0.201
2	5.999	0.454
3	5.068	0.593
4	4.792	0.496
5	4.788	0.254

Tab. 20: Ergebnisse der Bewertungsbeispiele

Beim Gesamtziel Nutzwertmaximierung sind die Alternativen 1 und 2 annähernd gleichwertig. Da jedoch mit Wahl der Alternative 2 ein höheres Risiko verbunden ist $(\sigma_2 > \sigma_1)$ und der Mittelwert geringfügig niedriger liegt, wird Alternative 1 vorgezogen.

Die graphische Darstellung der Endverteilung bietet formal keine Informationen, die durch μ und σ nicht bereits gegeben sind. Bei praktischer Anwendung des Bewertungsverfahrens soll diese Darstellung dennoch erfolgen, um dem Entscheidungsträger die Gesamtverteilung besser zu veranschaulichen.

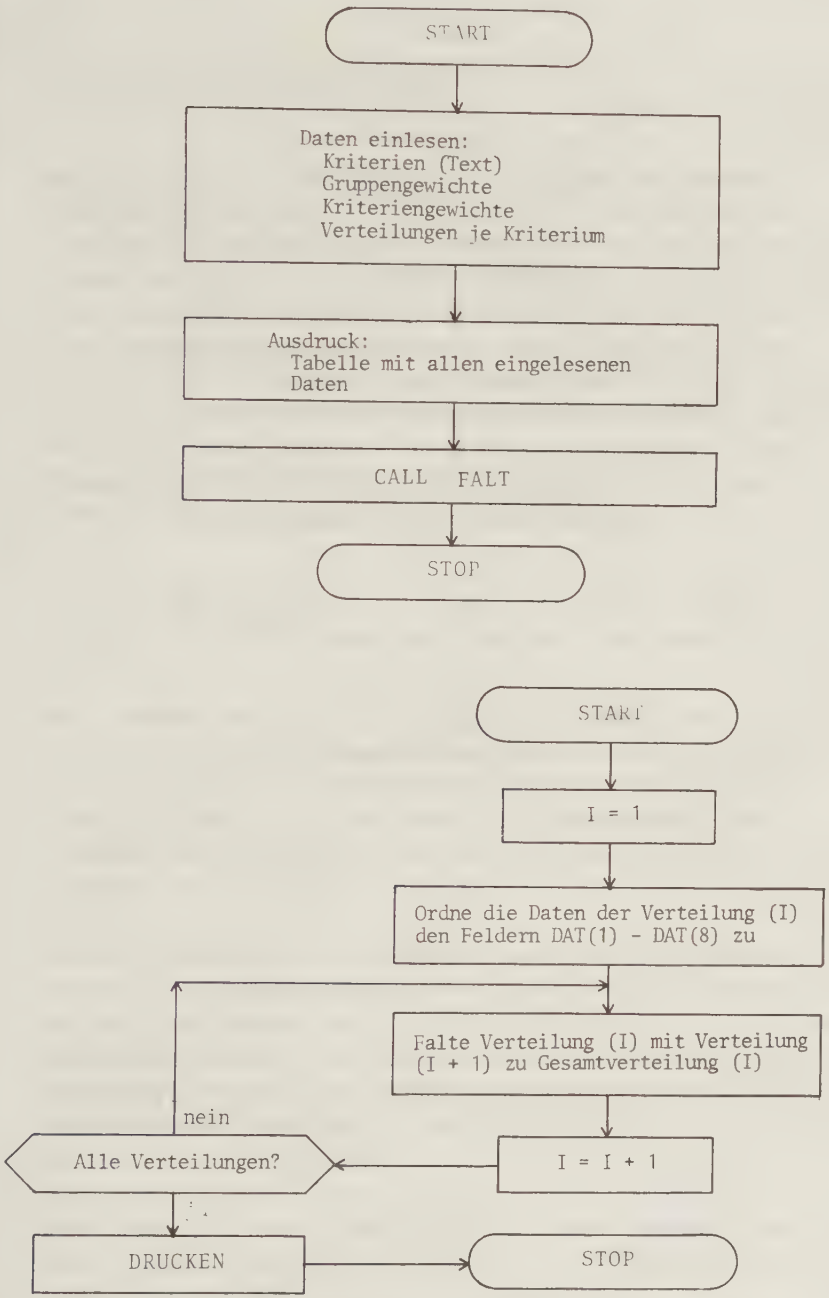


Abb. 48 Programm FALTUNG

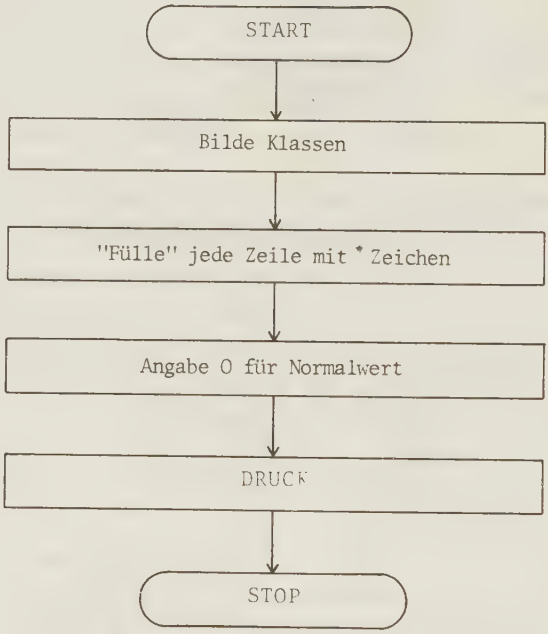


Abb. 48 (Fortsetzung) Programm FALTUNG

3.2.2. Quantitative Bewertung

Neben der Alternativenbewertung mit Hilfe der Nutzwertanalyse soll versucht werden, ausgehend von der gleichen Problemstellung, ein Bewertungsverfahren auf quantitativer Grundlage zu entwickeln. Der Ausgangspunkt hierfür ist die Vermutung, daß die meisten der im Rahmen der Nutzwertanalyse beschriebenen Einflußgrößen über "Indikatoren" als effektive Zahlungsströme ausdrückbar sind. Es liegt in der Natur der Sache, daß auch hier subjektive Merkmale die Bewertung beeinflussen. Allerdings wird versucht, diese Einschätzungen durch die Definition als Zufallsvariable eines Simulationssystems zu "objektivieren".

3.2.2.1. Zielsetzung

Ziel dieses Simulationssystems ist das Studium des Verhaltens von Montagesystemen bei unterschiedlichen Anordnungsstrukturen. Der Simulationsablauf soll die Ermittlung der Ausbringungsmenge und der organisationsformabhängigen (entscheidungsrelevanten) Kosten für einen bestimmten Zeitraum erlauben.

Da diese Kosten und die ebenfalls entscheidungsrelevanten Investitionen eine Berücksichtigung der Zeit erfordern, um die Vergleichbarkeit der Alternativen herzustellen, muß zur Entscheidungsfindung ein Verfahren der Investitionsrechnung eingesetzt werden. (Als Verfahren kommt hier die Kapitalbarwertmethode in Betracht. Vgl. NESTLER, H., PAPTISTELLA, R. (1974, S. 8).)

Eine Investitionsrechnung liefert nur dann Aussagen über die Rentabilität einer Anlage, wenn alle im Planungszeitraum

anfallenden Zahlungsströme berücksichtigt werden. Hier jedoch sollen zur Kapitalbarwertberechnung solche Kostenarten wegfallen, die bei allen Alternativen zum gleichen Zeitpunkt und in gleicher Höhe anfallen. Daraus folgt, daß der berechnete Kapitalbarwert keine Aussage über die tatsächliche Verzinsung der Investition zuläßt. Er stellt lediglich eine Maßgröße dar, die im Vergleich mit den (unter gleichen Bedingungen ermittelten) Barwerten der weiteren Alternativen die Bildung von Rangreihen erlaubt. Dieses Vorgehen ist nur unter der (hier gegebenen) Voraussetzung zulässig, daß eine der Alternativen realisert werden muß.

3.2.2.2. Modellbeschreibung

Steuergrößen dieses Modells sind, neben den notwendigen Daten zur Charakterisierung der Organisationsform, Angaben zu:

- Fluktuation
- Absentismus und
- Produktqualität.

Während bei der Nutzwertanalyse impliziert war, daß die Arbeitszufriedenheit durch die einzelnen Zielkriterien ausgedrückt werden kann und Fluktuation, Absentismus und Produktqualität sich daraus ableiten lassen, werden nun Abschätzung und direkte Angabe der Wirkungen gefordert.

Das heißt, der Bewertungsprozeß wird von den Endpunkten der Zielhierarchie auf eine höherstehende Zwischenstufe verlagert. Vom Entscheidungsträger wird hierbei ein höheres Abstraktionsvermögen verlangt, da er die Wirkungen sämtlicher untergeordneter Kriterien auf die vorgegebenen Beurteilungsmerkmale berücksichtigen muß.

Es wird also unterstellt, daß die genannten qualitativen Merkmale Auswirkungen auf Fluktuation, Absentismus und Produktqualität haben. Wenn auch in den angeführten empirischen Untersuchungen (vgl. oben Abschnitt 1.2.2.) oft nur ein schwacher Zusammenhang mit den erwähnten Erscheinungen nachgewiesen werden konnte, so waren doch in Einzelfällen Interdependenzen vorhanden.

Wenn nun bei Betrachtung von Einzelfällen, in Kenntnis der realen Situation, ein solcher Zusammenhang abgeschätzt werden soll, so erscheint dieses Vorgehen durchaus plausibel.

Da außerdem die Prämissen, die im Planungsstadium in die Entscheidung eingehen, nach der Realisierung empirisch überprüft werden können, erhöht sich mit zunehmender Planungserfahrung auch die Zuverlässigkeit der Schätzungen.

Wird vom Entscheidungsträger zwischen einigen Bewertungskriterien des Zielsystems und den anzugebenden Auswirkungen ein Zusammenhang verneint, kann das quantitative, mit dem Simulationsmodell erzielte Ergebnis zusätzlich durch Betrachtung dieser Merkmale relativiert werden.

Voraussetzung ist ein für alle Alternativen gleiches Lohnsystem, das von den Verwaltungsabteilungen ohne Mehr- oder Minderaufwand bewältigt wird.

Die Zahl der Stationen und die Größe der Puffer zwischen den Stationen charakterisieren die verschiedenen Varianten. Durch Zufallsprozesse werden zunächst die in den Planungszeitraum fallenden Kündigungen und Abwesenheitsperioden ermittelt. Dann erfolgt die Simulation des Durchlaufs der Montageteile durch das System für einen bestimmten Zeitraum. Daran schließen die Bewertung der errechneten Ergebnisse, die

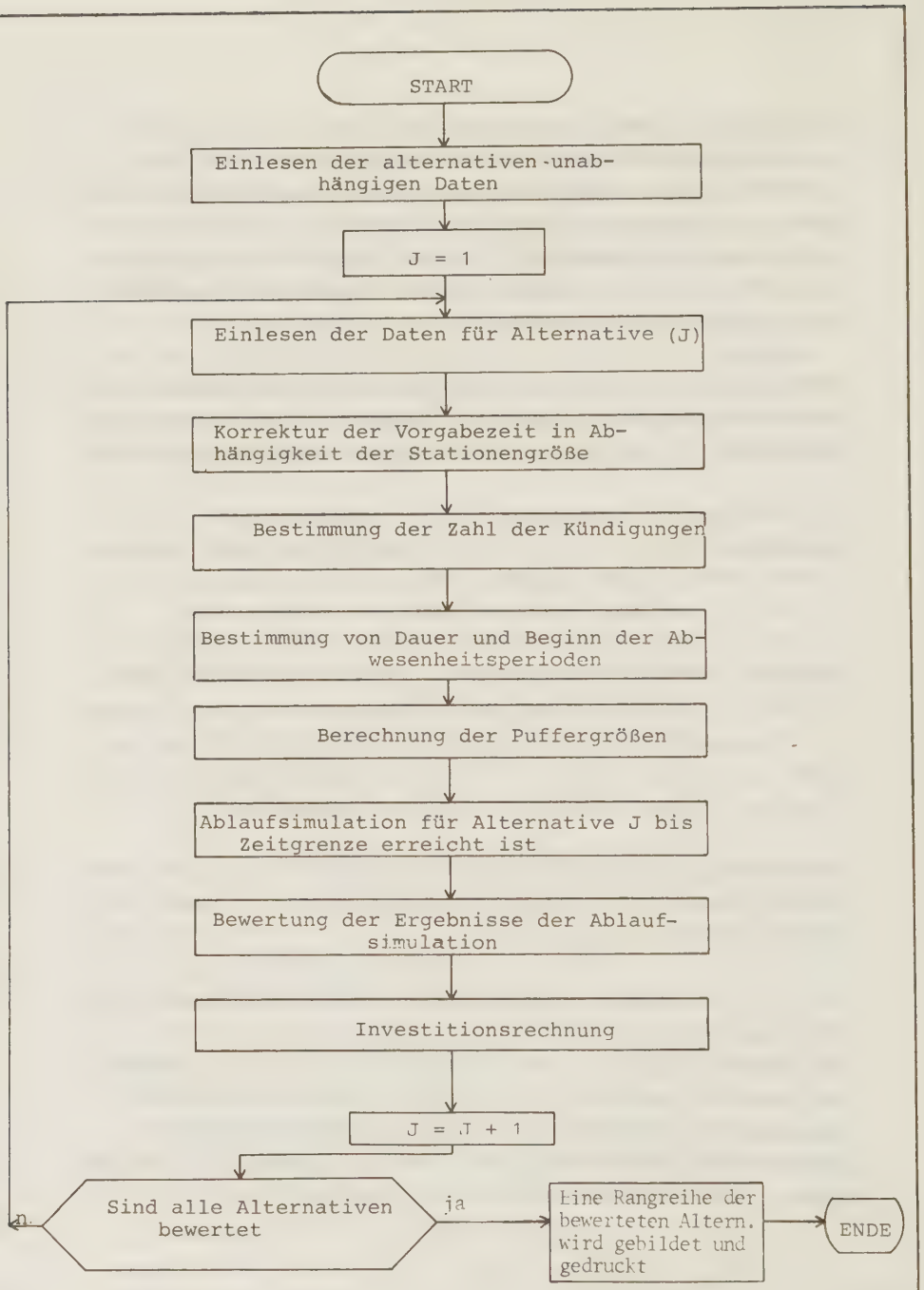


Abb. 49 Simulationsprogrammsystem SIBA

Verknüpfung aller quantitativen Informationen in einer Investitionsrechnung und die Auswahl der günstigsten Alternative an. (Abb. 49 stellt das Ablaufprinzip des Simulationsprogrammsystems SIBA dar.)

Bei Auslegung eines Simulationsexperiments muß berücksichtigt werden, daß verschiedene Kombinationen von Variablen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können.

"Verfahren zur Bestimmung einer geeigneten Faktorenkombination"... bezeichnet man ..."als Faktorenauslegung." (MERTENS, P. 1967, S. 22) Da bereits bei einer geringen Zahl von Faktoren die Berücksichtigung aller möglichen Kombinationen einen sehr hohen Rechenaufwand erfordert, wurden Verfahren zur Beschränkung auf einen Teil der Kombinationsmöglichkeiten entwickelt. Man unterscheidet statische und dynamische Faktorenauslegung (vgl. MERTENS, P., 1969, S.23).

Die Beachtung unterschiedlicher Ausgangsbedingungen ist immer dann notwendig, wenn diese keinen Einfluß auf das Ergebnis haben sollen. Sobald jedoch, bei sonst nicht veränderlichen Größen, die Wirkungen verschiedener Ausgangsbedingungen untersucht werden sollen, erscheint es nicht erforderlich, alle denkbaren Faktorenkombinationen zu berücksichtigen.

Im vorliegenden Fall sind Fluktuationsrate, Absentismusrate und Fehlerprozentsatz die einzigen variablen Angaben. Da jedoch gerade deren, je Alternative unterschiedliche Werte Untersuchungsgegenstand sind, darf ihre Wirkung nicht durch Faktorenauslegung nivelliert werden. Den Unsicherheiten, die wegen der individuellen Schätzung dieser Größen in die Be-

rechnungen eingehen, könnte durch die Annahme von Verteilungen Rechnung getragen werden. (Im Hinblick auf die stark ansteigende Rechenzeit wurde auf dieses Vorgehen verzichtet.)

Das Programmsystem SIBA ist aus einer Reihe von Unterprogrammen aufgebaut, die bei Bedarf vom Hauptprogramm aufgerufen werden. Anhand dieser Programmbausteine geschieht die Erläuterung des Gesamtsystems.

3.2.2.2.1. Dateneingabe

Im Unterprogramm LESEN werden alle allgemeingültigen Daten eingegeben und zur Kontrolle mit verbalen Erläuterungen ausgedruckt (vgl. Flußdiagramm Abb. 50).

Eingabedaten: LESEN

- Investitionen pro: Arbeitstisch (TI), Arbeitsstuhl (ST), Vesperkasten (VESP), Tisch und Stuhl für Pausenraum (PTI u. PST), Antriebseinheit (ANTR), 1 Meter Transportmittel (TRP), Ausstattung mit Maschinen und Werkzeugen (WZG)
- Lebensdauer der Anlage (LD), Kalkulationszinsfuß (ZKAL) und Restverkaufserlös am Ende der Lebensdauer (R)
- Verteilung der Urlaubsdauern (UR)
- Verteilung der Krankheitsdauern (D)
- Verteilung der Zeitdauer,bis bei Personalausfall eine Ersatzperson verfügbar ist (ERS)
- Verteilung der Stördauern (SDV)
- Verteilung der Zusatzdauern in den Intervallen (SDV 1)
- Zeitintervalle in denen Störungen ermittelt werden (SDVD)
- tatsächliche Zusátzdauern innerhalb der Intervalle (SDVI)
- Verteilung der Störzeitpunkte (SZV)
- Verteilung der Nacharbeitsdauern (ANACH)
- Verteilung der Reparaturdauern bei Garantiefällen (GAREP)

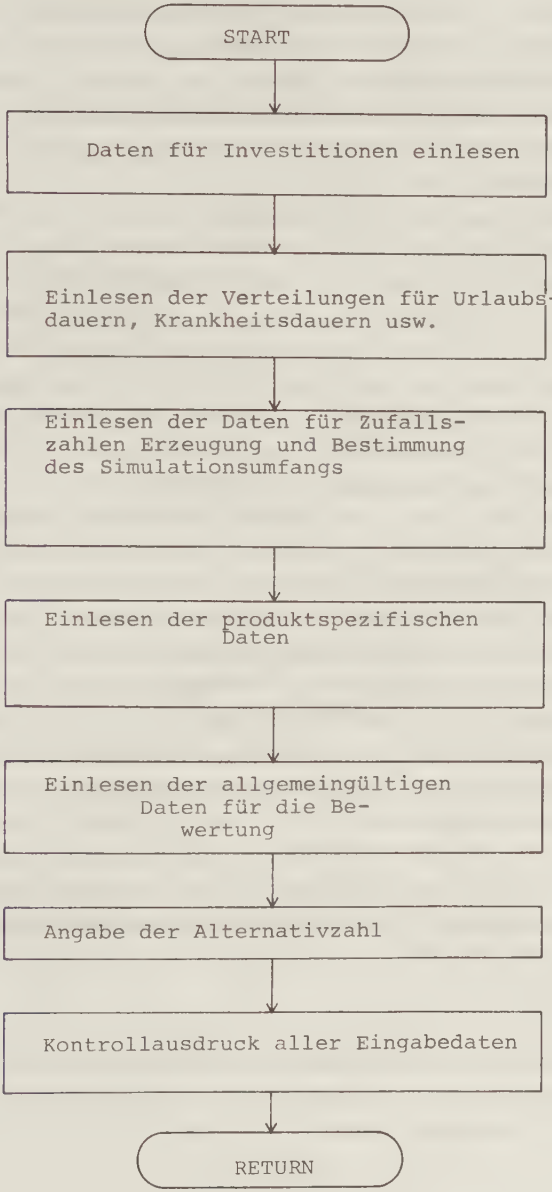


Abb. 50 Unterprogramm LESEN

- Obergrenze des Zufallszahlenbereichs (ZUFMAX)
- Anfangswert zur Zufallszahlenermittlung (B)
- Täglicher Arbeitsbeginn (TZB)
- Obergrenze der täglichen Arbeitszeit (TMAX)
- Zahl der zu simulierenden Tage (TAGM)
- Schichtenzahl (SM)
- Zahl der Einzelteile je Erzeugnis (TZ)
- Zahl der erforderlichen Vorratsbehälter je Typ (4 Typen sind vorgesehen, BEH1, BEH2,...,BEH4)
- Summe aller Bearbeitungszeiten je Erzeugnis (Planwert) (SUTI)
- Maximale Höhe der Behälteraufbauten am Arbeitsplatz (H)
- Erlös je Erzeugnis (ER)
- Prozentsatz der Lohngemeinkosten (GKPL)
- Materialkosten je Erzeugnis (AMATK)
- Durchschnittlicher Aufwand für zusätzliches Material bei Nacharbeit (AMATKN)
- Durchschnittlicher Aufwand für zusätzlichen Materialaufwand bei Garantiearbeiten (AMATGK)
- Energiekostensumme je Erzeugnis (EK)
- Schrotterlös je Ausschußteil (SCHE)
- Monatsgehalt eines Meisters (GOM)
- Durchschnittliche Vertriebskosten pro Erzeugnis (VERTK)
- Raumkostensatz pro Quadratmeter (RAKOS)
- Alternativenzahl (IALT)

Die eingelesene Alternativenzahl bestimmt, wie oft die folgenden Programmteile (Ausnahme: Unterprogramm DRUCK) durchlaufen werden.

Im Unterprogramm READ erfolgt die Angabe der alternativenspezifischen Werte. Für jeden Lösungsvorschlag muß folgender Datensatz vorhanden sein:

- Stationenzahl je Gruppe (N)
- Personenzahl je Gruppe (IPERS)
- Prozentualer Taktverlust (TVA)
- Zahl der Paralleleinrichtungen (IPFR)
- Angabe des Anordnungsprinzips (UMP, GLAP, KMP, PUP, ZWIF oder LM)
- Grundfläche eines Werkstücks (FLW)
- Länge und Breite des Puffers nach jeder Station (AL, AB)
- Belegte Gesamtfläche (FLAE)
- Benötigte Länge (GL)
- Minutenfaktor (AMINF)
- Monatslohn eines Vorarbeiters (GVOR)
- Zahl der Vorarbeiter (EINPER)
- Monatslohn einer Hilfskraft (GHILP)
- Zahl der Hilfskräfte (HILP)
- Personenzahl je Meister (IPERM)
- Persönliche Verteilzeit (PVERT)
- Kosten der Anwerbung eines Mitarbeiters (PERW)
- Kosten der Personenauswahl eines Mitarbeiters (PERAW)
- Kosten der Einstellung eines MA (PEREIN)
- Erwartete Durchschnittsleistung (DULEI)
- Prozentsatz der Montagefehler (FPROZ)
- Nacharbeitsprozentsatz (PROZN)
- Erwartete Fluktuationsrate (PROZ)
- Erwarteter Prozentsatz der Abwesenheitszeiten (PROK)
- Prozentsatz der Kapazitätsminderung, ab dem in allen Organisationsformen Ersatz beschafft werden muß (ERSG)
- Prozentsatz der Garantiefälle (GPROZ)
- Reparaturprozentsatz bei Garantiebeanstandungen (GAUS)

Alle eingegebenen Daten werden mit kurzen Erläuterungen ausgedruckt (vgl. Flußdiagramm Abb. 51).

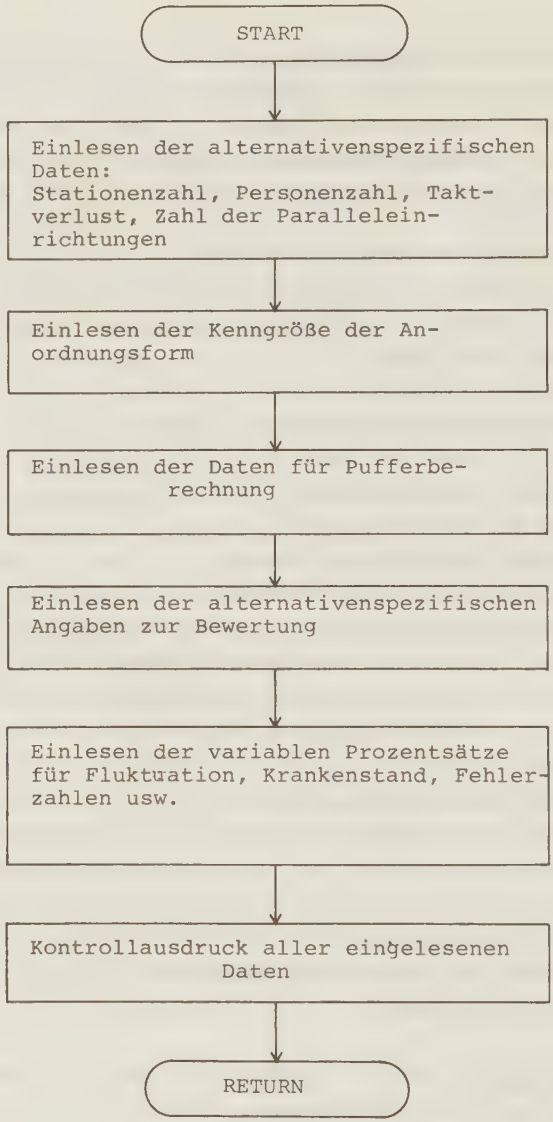


Abb. 51 Unterprogramm READ

3.2.2.2.2. Anpassung der Vorgabezeit

Bei Linienmontagealternativen muß von einer, um die Taktverluste erhöhten, Vorgabezeit ausgegangen werden. Deshalb wird die alternativenneutral eingelesene Vorgabezeit (SUTI) für Linienmontagen um den ebenfalls angegebenen Taktverlustprozentsatz erhöht.

$$SUTI_{neu} = SUTI_{alt} \cdot (1 + \frac{TVA}{100})$$

$SUTI_{alt}$: eingegebene Planvorgabezeit

$SUTI_{neu}$: um Taktverlust erhöhte, aktuelle Vorgabezeit

TVA: eingegebener Taktverlustprozentsatz

Das Unterprogramm SSAB berechnet die mittlere Bearbeitungszeit je Station (SUTIZ). Außerdem ermittelt es für große Stationen und für Systeme mit mehr als 8 Arbeitsplätzen (für häufiges Aufnehmen und Ablegen) Zuschläge zur Planvorgabezeit.

Die Zuschläge für große Stationen werden, wie im Abschnitt 3.1.1.1.1. (vgl. S. 54) angegeben, bestimmt, hier jedoch auf eine Station bezogen.
Für Alternativen mit mehr als 8 Stationen werden, in Anlehnung an MTM-Empfehlungen, 0,07 Minuten für jede über 8 hinausgehende Station berücksichtigt und gleichmäßig auf alle Stationen verteilt. Die mittlere Arbeitszeit pro Station berechnet sich in diesem Fall als

$$SUTIZ = \frac{((N-8) \times 0{,}07 + SUTI)}{N}$$

wobei

SUTIZ: mittlere Bearbeitungszeit pro Station

N: Stationenzahl

SUTI: Planvorgabezeit pro Stück

(Vgl. Flußdiagramm Abb. 52)

3.2.2.2.3. Berücksichtigung von Fluktuation und Absentismus

Zur Berücksichtigung der Fluktuation wird die Zahl der Kündigungen (KUE) aufgrund des erwarteten Prozentsatzes (PROZ) ermittelt, und auf die nächstgrößere ganze Zahl aufgerundet.

$$KUE = \text{entier} \frac{N \cdot PROZ}{100}$$

Diese Berechnung erfolgt im Hauptprogramm.

Das Unterprogramm ABSENT unterscheidet zwischen geplanten (z.B. Urlaub) und ungeplanten Fehlzeiten (z.B. Krankheit). Für die Bestimmung der Dauer von Abwesenheitsperioden und deren Beginnzeitpunkte ist der betrachtete Zeitraum jeweils ein Monat.

Da nur ein Monat betrachtet wird, muß hier von einer Gleichverteilung aller Fehlzeiten im Jahresablauf ausgegangen werden. Das heißt, auf einen Monat entfällt $\frac{1}{12}$ der Abwesenheitszeiten pro Jahr.

Die Urlaubstage der Mitarbeiter werden als Prozentsatz der maximal möglichen Anwesenheitszeit berechnet.

$$NERS = \text{entier} \frac{(N \cdot 173{,}9) \cdot FAK}{8}$$

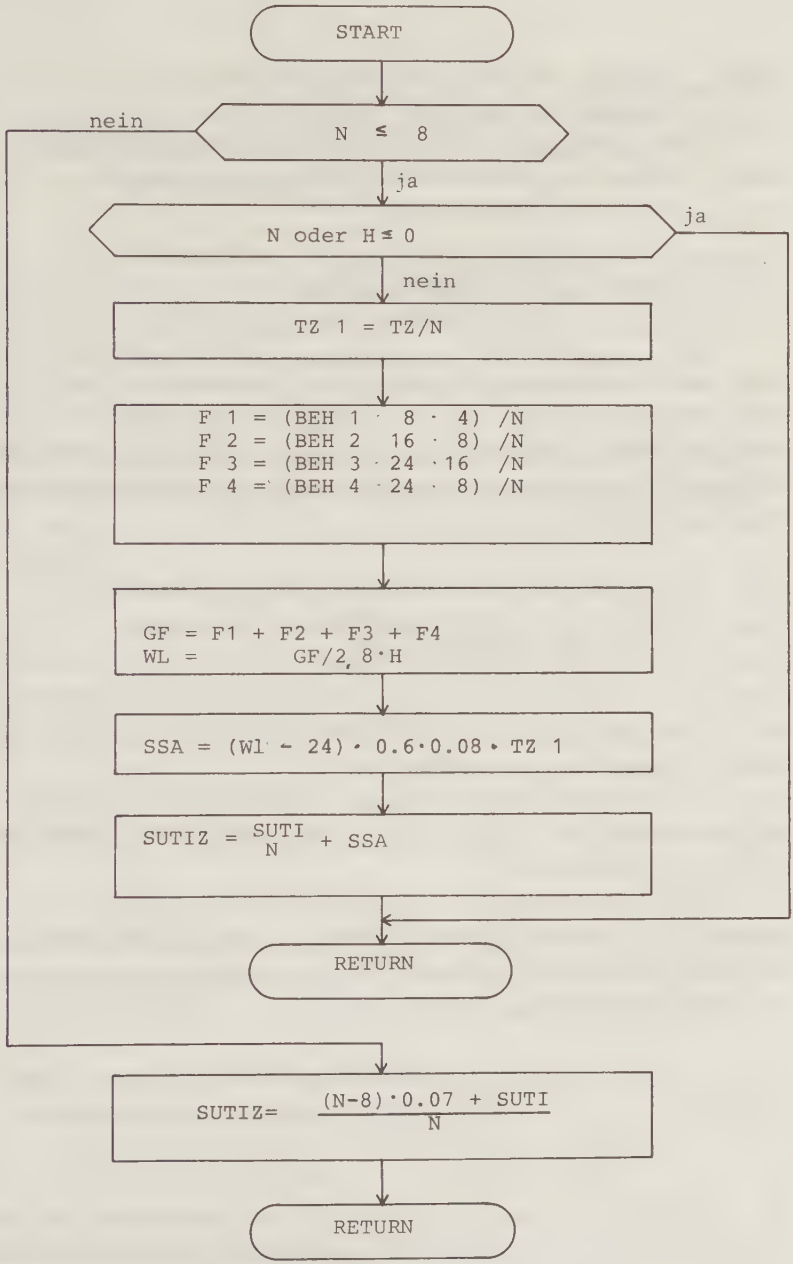


Abb. 52 Unterprogramm SSAB

NERS: Zahl der geplanten Fehltage pro Monat
N: Personenzahl an einer Einrichtung
173,9: Durchschnittliche Arbeitszeit je Monat in Stunden
FAK: Faktor zur Berücksichtigung der Urlaubstage
8: Arbeitsstunden pro Tag

$$FAK = \frac{\text{Urlaubstage pro Jahr}}{\text{Gesamtzahl der Arbeitstage pro Jahr}}$$

Geht man von durchschnittlich 20 Urlaubstagen und ca. 250 Arbeitstagen pro Jahr aus, so erhält FAK den Wert 0,08. Erreicht NERS einen Wert > 0, erfolgt im Unterprogramm ERAB die Ermittlung von Beginnzeitpunkt und Dauer der Abwesenheitsperiode(n).

Die ungeplanten Fehlzeiten werden analog berechnet.

$$FT = \frac{(N \cdot 173{,}9) \cdot \frac{PROK}{100}}{8}$$

FT: Zahl der ungeplanten Fehltage pro Monat
PROK: Prozentsatz der Fehlzeiten

Zur Bestimmung der exakten Zeitpunkte und Dauern wird auch hier ERAB aufgerufen.

Stehen für alle Abwesenheitszeiten Beginn und Dauer fest, erfolgt je nach vorliegender Anordnungsform die Simulation der Ersatzbeschaffung.

Für Linienmontagealternativen müssen immer Ersatzpersonen eingesetzt werden. Für zusammenhängende Abwesenheitstage reicht ein Vertreter aus.

Bei geplanten Fehlzeiten steht die Aushilfe bereits bei Arbeitsbeginn zur Verfügung. Bei ungeplanten Fehlzeiten wird durch einen Zufallsprozeß eine Verzögerung des Arbeitsbeginns

erzeugt. Für diesen Zeitraum ist eine Verteilung angegeben, deren Elemente als gleich wahrscheinlich betrachtet werden. Die Auswahl eines Wertes erfolgt durch Ziehen einer Zufallszahl (Unterprogramm ZUF).

Bei allen anderen Organisationsformen werden nur Ersatzpersonen eingesetzt, wenn durch die Ausfallzeiten eine gewisse Kapazitätsminderung überschritten wird. Der Entscheidungsträger bestimmt diesen Prozentsatz. (Vgl. Flußdiagramm Abb. 53)

Empirisch ermittelte Verteilungen von Urlaubs- und Krankheitsdauern und die in ERAB errechneten Abwesenheitszeiten bestimmen zusammenhängende Fehltage und Zeitpunkte im Monatsablauf.

Für die Urlaubs- und Krankheitsdauern wird Gleichverteilung angenommen. Durch Ziehen einer Zufallszahl wird eine Periode bestimmter Länge ausgewählt und von der Gesamtzahl der Fehltage abgezogen.

Dieses Vorgehen wiederholt sich, bis keine weiteren Fehltage verbleiben.

Zur Auswahl eines Beginnzeitpunkts je Abwesenheitsperiode ist jeder der in einem Monat in Frage kommenden Arbeitstage gleich wahrscheinlich. Da die gesamte Abwesenheitszeit in einem Monat liegen muß, sind nur TM Anfangstage möglich.

$$TM = ATM - DAUER$$

TM: Zahl der möglichen Anfangstage

ATM: Arbeitstage je Monat (im Programm werden 21 Tage angenommen)

DAUER: Dauer einer Abwesenheitsperiode

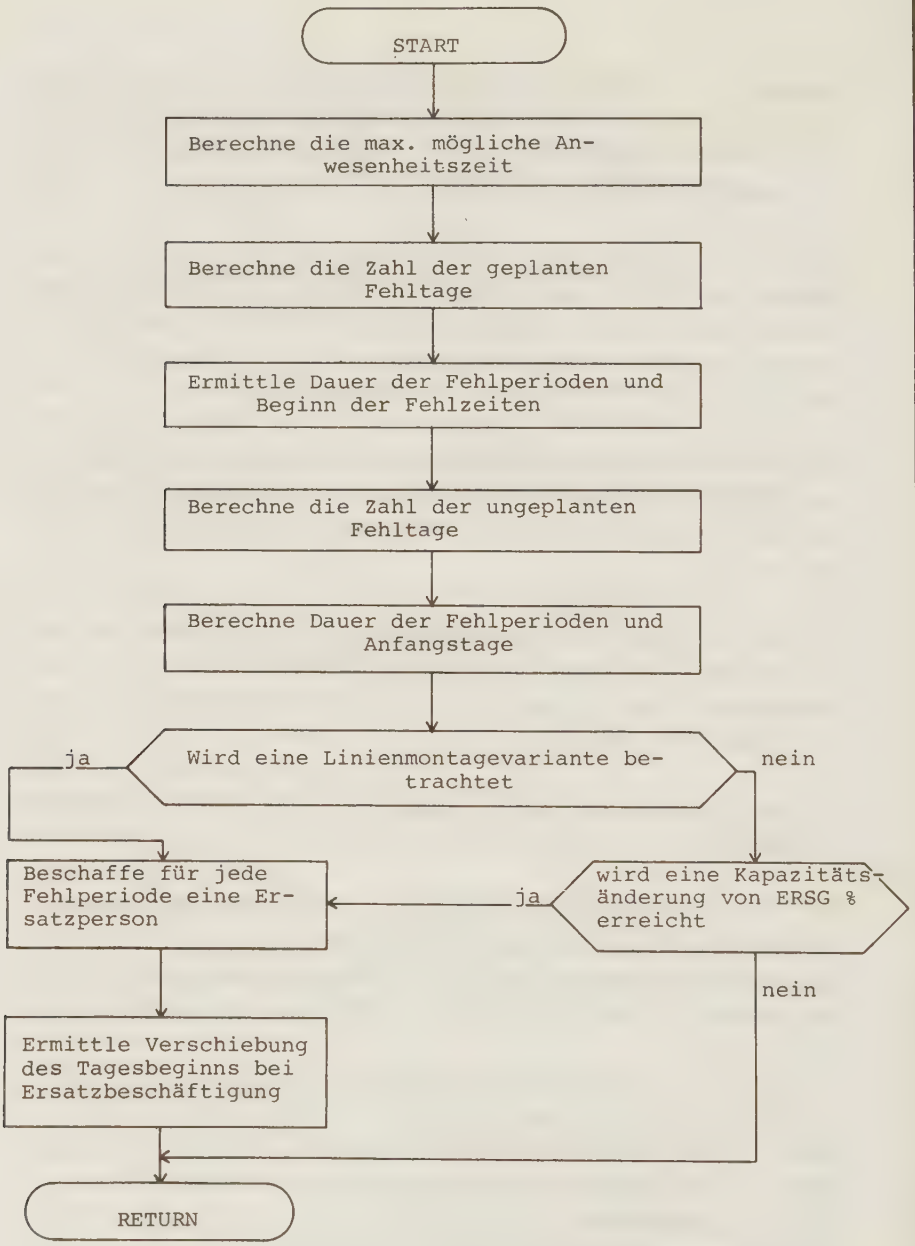


Abb. 53 Absentismus (Unterprogramm ABSENT)

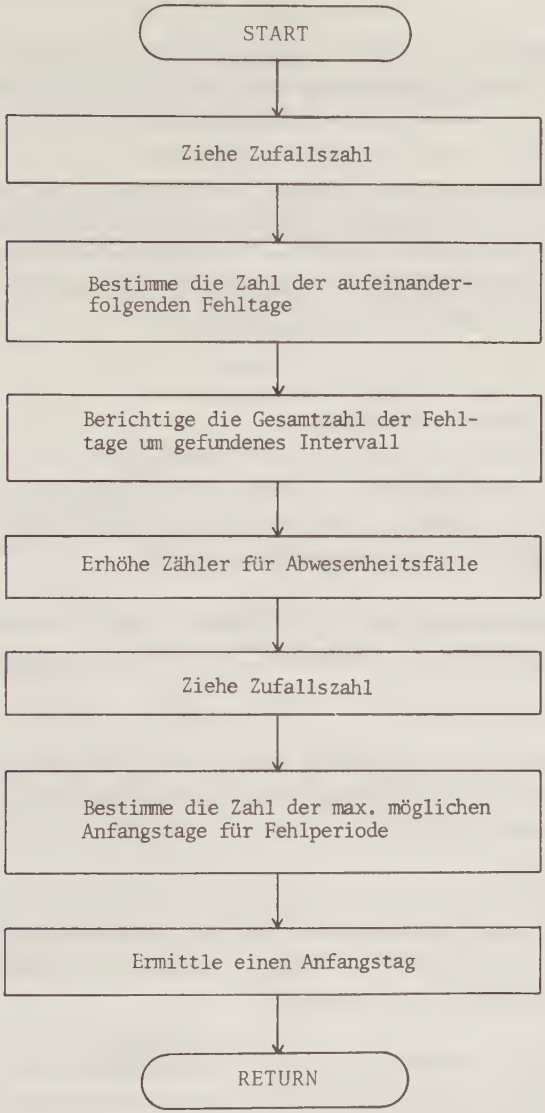


Abb. 53 (Fortsetzung)	Unterprogramm ERAB

Die Festlegung eines Beginntages erfolgt durch Ermittlung einer Zufallszahl (Unterprogramm ZUF) (Vgl. Flußdiagramm Abb. 53).

Im Unterprogramm PERON wird die Personenzahl am Monatsanfang, also zum Simulationsbeginn, festgelegt. Fällt im Unterprogramm ABSENT auf den ersten Tag der Beginn einer oder mehrerer Abwesenheitsperioden, wird die angegebene Personenzahl korrigiert (Flußdiagramm vgl. Abb. 54).

3.2.2.2.4. Pufferberechnung

Der maximal mögliche Pufferinhalt (IP) je Station (K) wird von der Anordnungsform, den Abmessungen der Puffer und Erzeugnisse und der Personenzahl bestimmt.

Eine Komplettmontage hat keine Puffer. (Als "Puffergröße" wird eine große Zahl eingesetzt, die im Programmablauf nicht stört.)

Für Umlaufsysteme, bei denen nicht alle Stationen besetzt sind, werden die Pufferkapazitäten mit Hilfe spezieller Eingabedaten ermittelt.

Bei gleitender Abtaktung erfolgt, definitionsgemäß, die Weitergabe jedes Werkstücks ohne Zwischenlagerung, von einem Mitarbeiter zum nächsten. Puffer zwischen Arbeitsplätzen können nicht definiert werden.

Sind bei einer Zwischenform- oder Linienmontagealternative alle Stationen besetzt, erfolgt die Berechnung der maximalen Pufferkapazitäten im Unterprogramm PUIN.

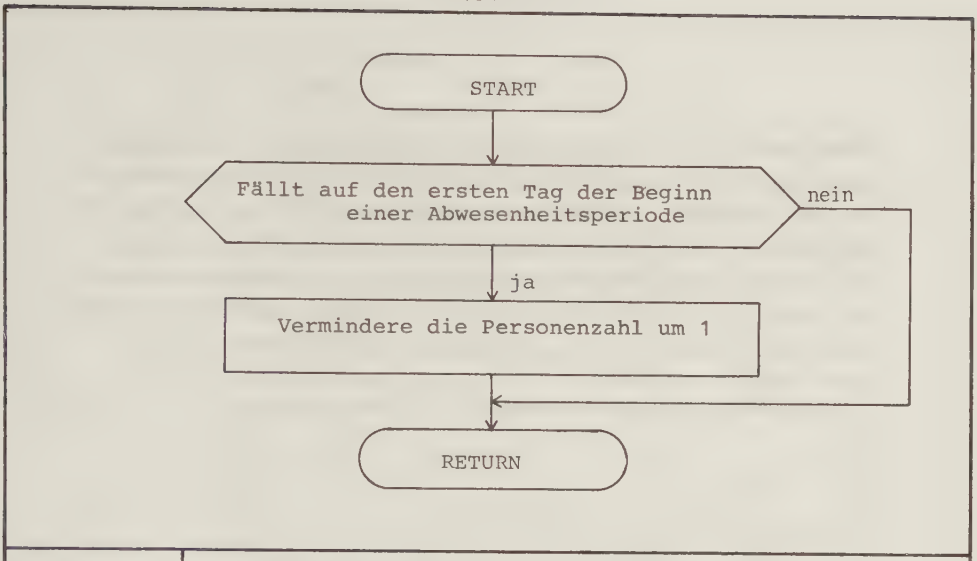


Abb. 54 Unterprogramm PERON

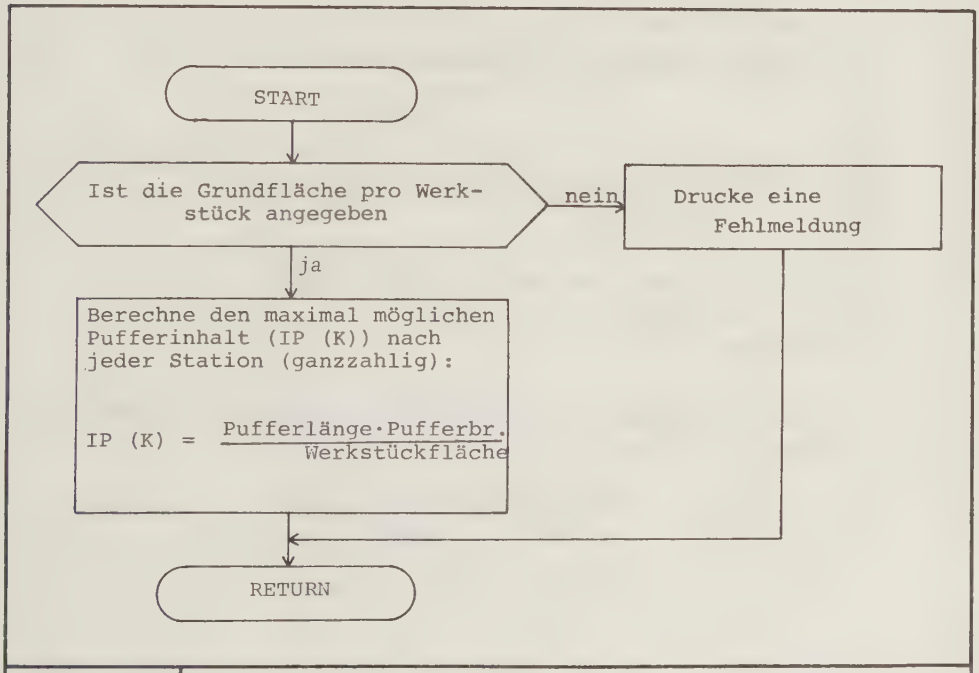


Abb. 55 Unterprogramm PUIN

Wenn nicht alle Stationen besetzt sind, werden bei sequentiellem Ablauf die Puffer aller Stationen ohne Besonderheiten berechnet. Beim partiellen Umlaufprinzip erfolgt die Ermittlung der Pufferkapazität für jede besetzte Station im Rahmen des normalen Rechenvorgangs. Lediglich die Kapazität des Puffers nach der letzten besetzten Station wird um die freie Kapazität des Umlaufpuffers erweitert (vgl. Abb. 55).

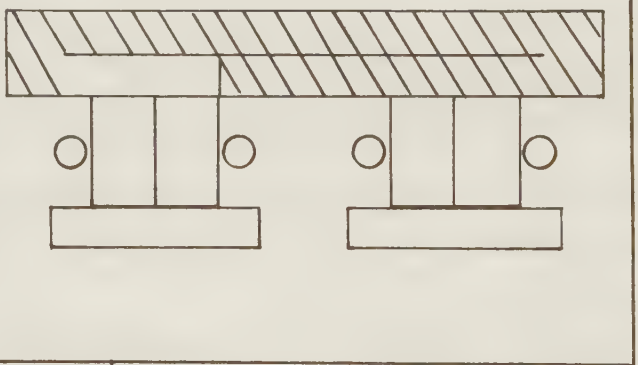


Abb. 56	Pufferberechnung im partiellen Umlaufprinzip

Der durch Schrägstriche gekennzeichnete Bereich stellt den Puffer der letzten besetzten Station dar (vgl. Flußdiagramm Abb. 56).

Die Pufferkapazität je Station wird mit folgender Rechenvorschrift ermittelt:

$$IP(K) = \frac{AL(K) \cdot AB(K)}{FLW}$$

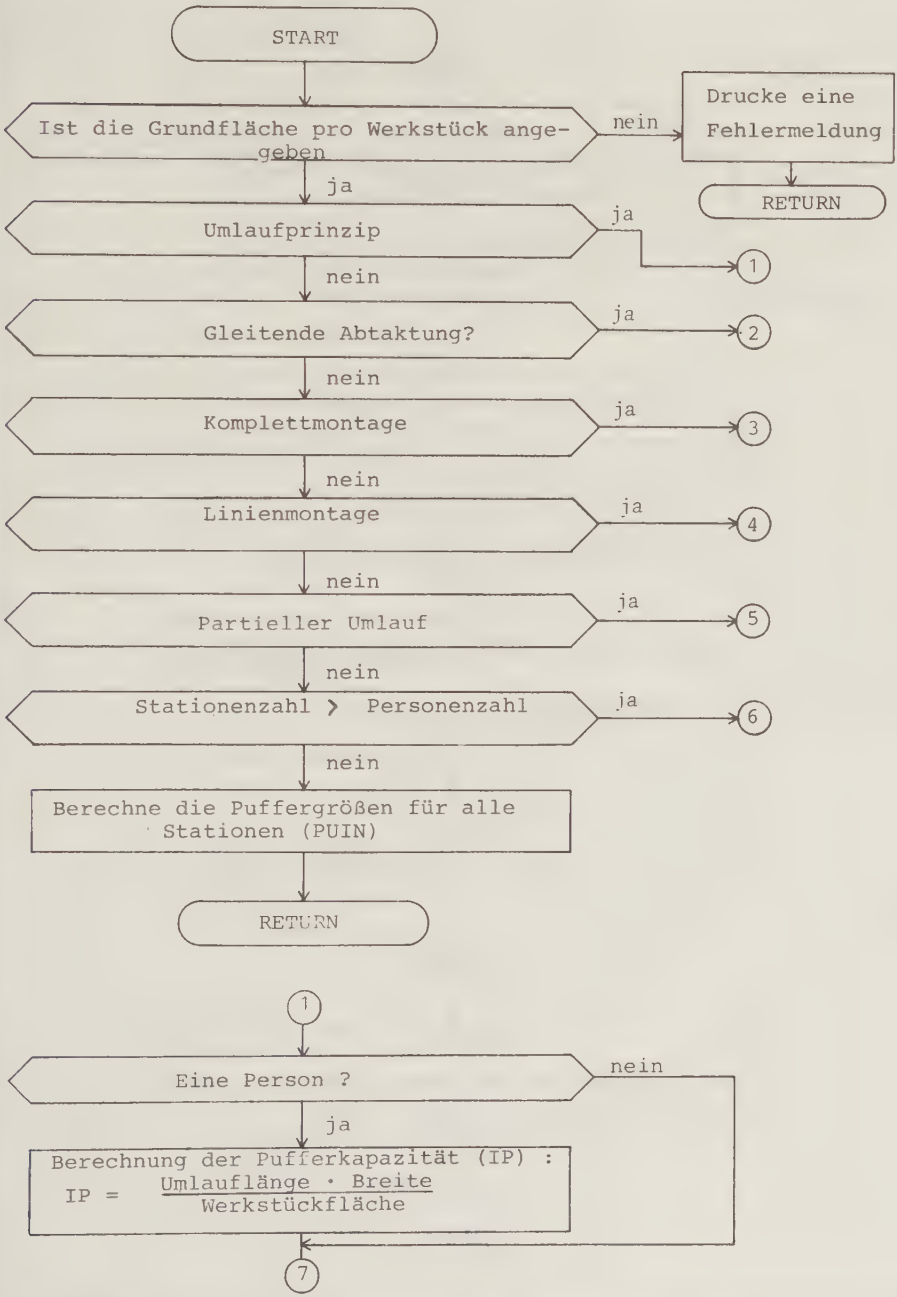


Abb. 57 Unterprogramm PUK

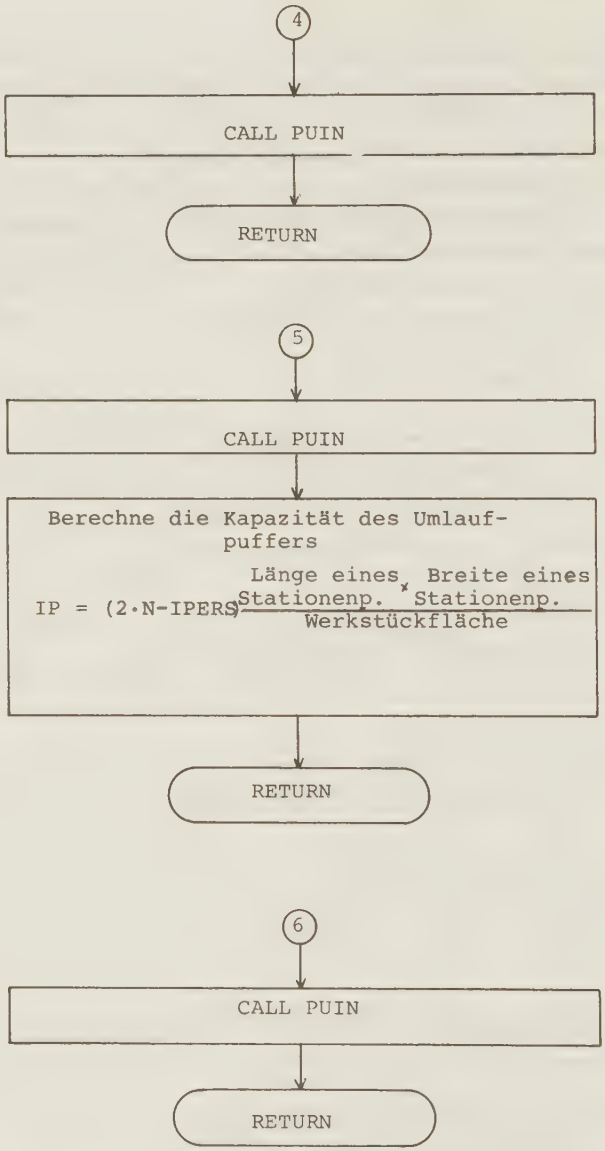


Abb. 57 (Fortsetzung) Unterprogramm PUK

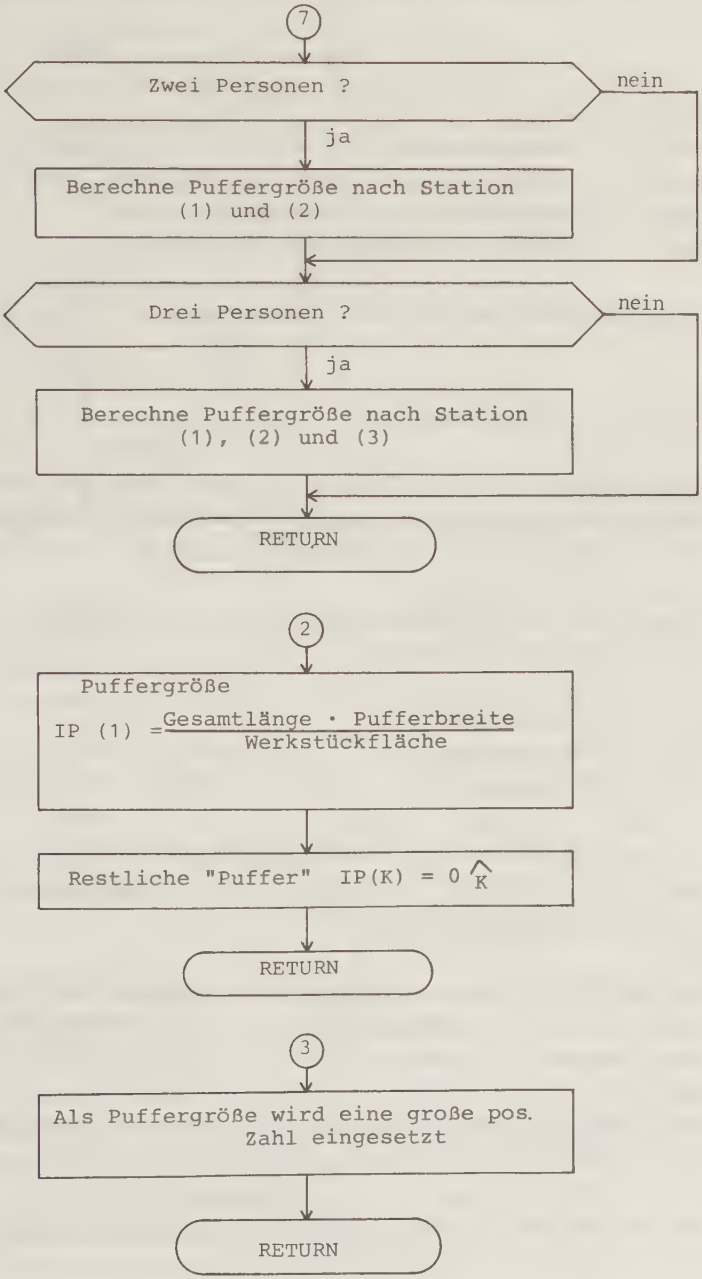


Abb. 57 (Fortsetzung) Unterprogramm PUK

wobei:

IP(K): Pufferkapazität nach Station K (in Stück)

AL(K): Pufferlänge nach Station K (in cm)

AB(K): Pufferbreite nach Station K (in cm)

FLW: Fläche eines Werkstücks (in cm^2)

(Vgl. Flußdiagramm Abb. 57)

3.2.2.2.5. Ablaufsimulation

Im Unterprogramm TAG erfolgt die eigentliche Abbildung jeder Alternative in Form von Stationen und Puffern, die von Werkstücken durchlaufen werden.

Ziel dieser Durchlaufsimulation ist die Ermittlung von

- Ausbringungsmenge
- Ausschuß
- Nacharbeit
- Wartezeiten und
- Störzeiten.

Die Zeitführung erfolgt nach der Methode variabler Inkremente (vgl. MERTENS, P., 1969, S. 20). Zufallszahlen werden im Unterprogramm ZUF erzeugt.

Für das Unterprogramm TAG sind die Ergebnisse der bisher durchlaufenen Programmabschnitte und verschiedene Eingabedaten bekannt (Flußdiagramm zum Unterprogramm TAG vgl. Abb. 58).
Nach dem Festlegen der Anfangswerte aller Felder werden Stationen ausgewählt, die mit anzulernenden Arbeitskräften besetzt sind (vgl. Abb. 59, Unterprogramm ANLERN). Anschließend müssen die Bedingungen für Arbeitsplatzwechsel

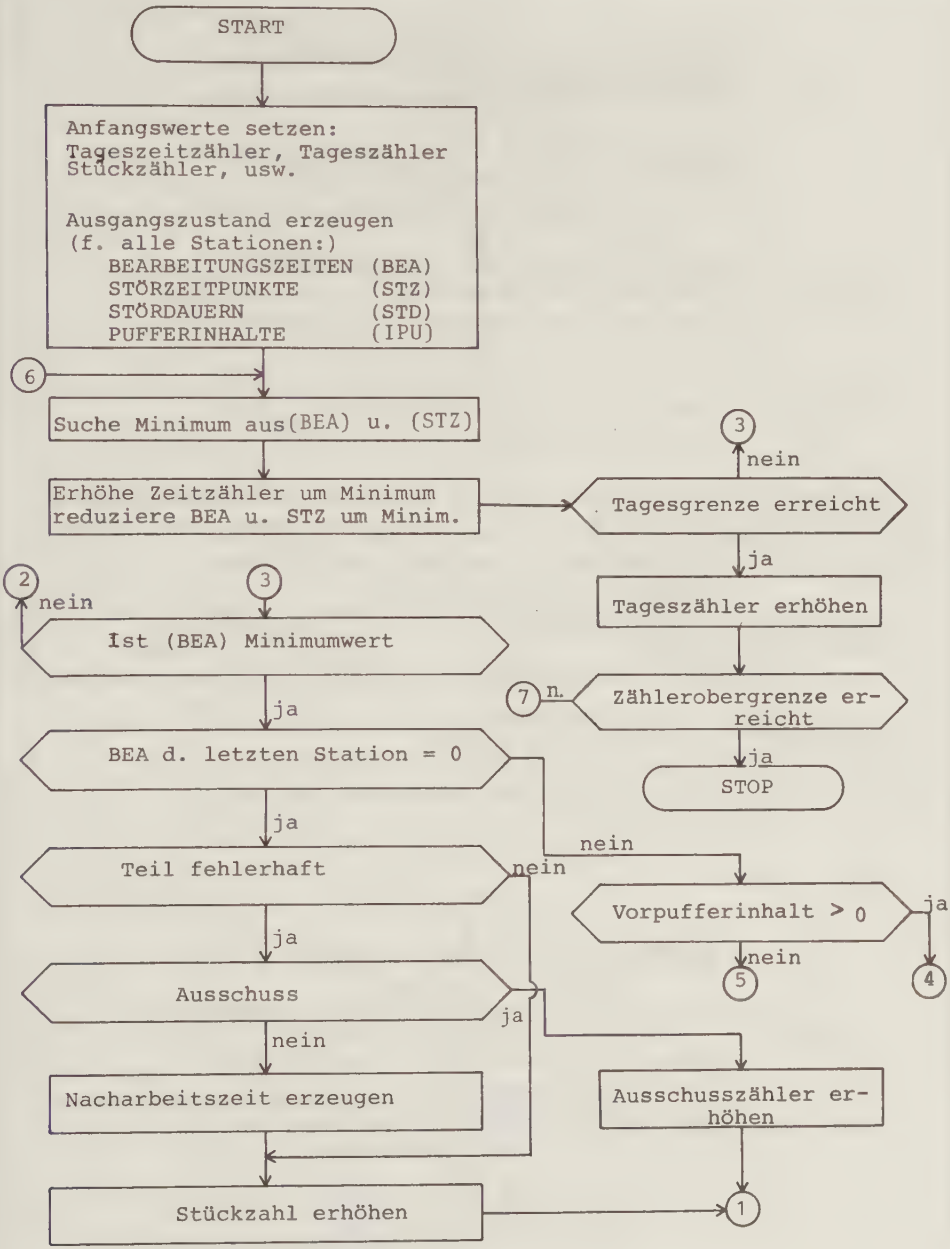


Abb. 58 Unterprogramm TAG

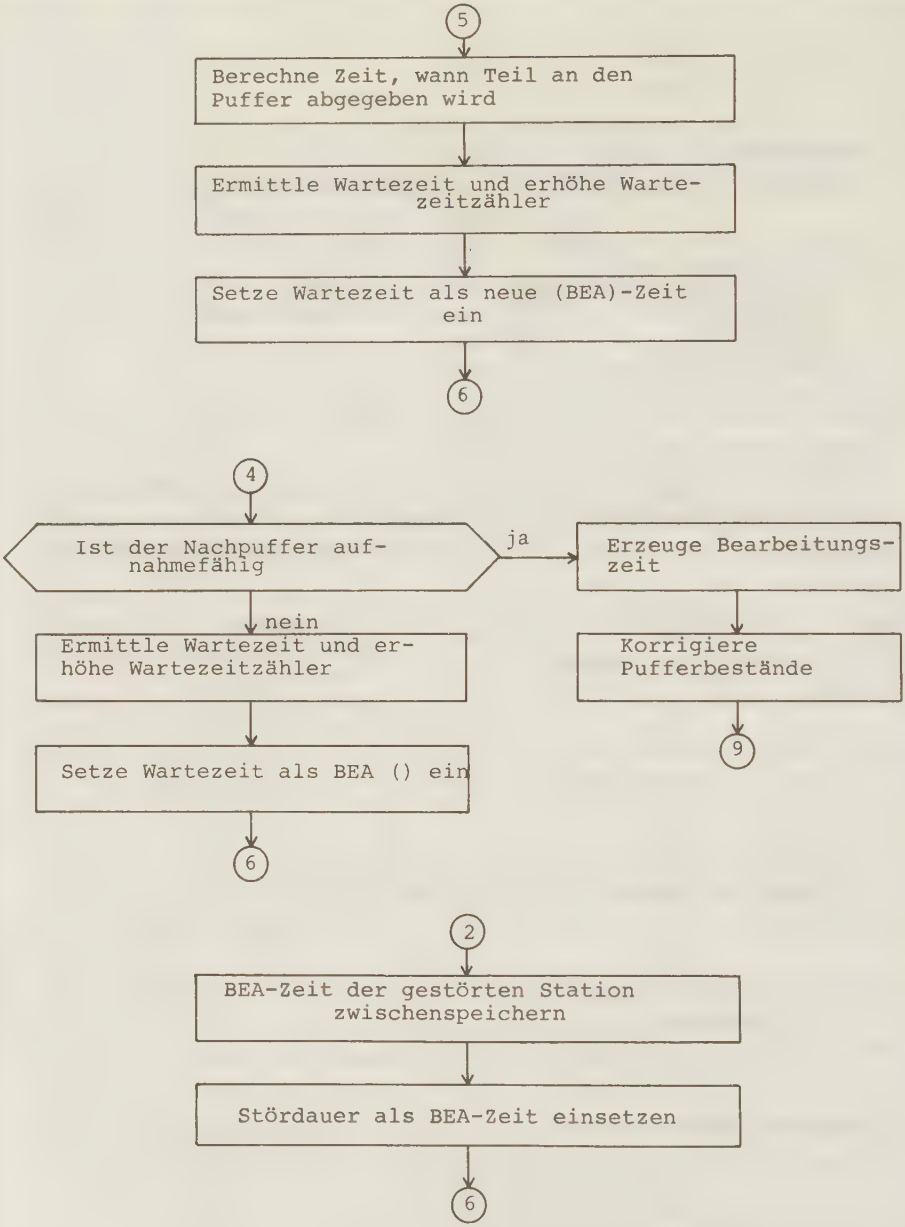


Abb. 58 (Fortsetzung) Unterprogramm TAG

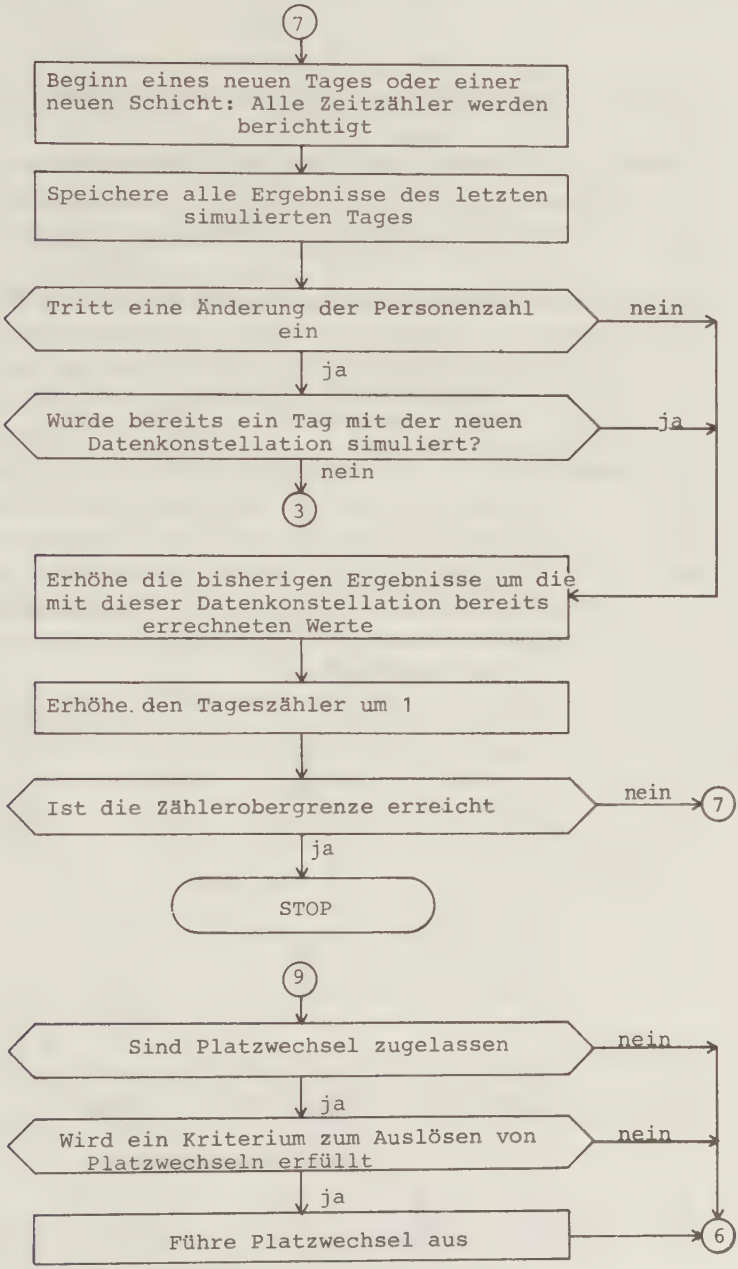


Abb. 58 (Fortsetzung)	Unterprogramm TAG

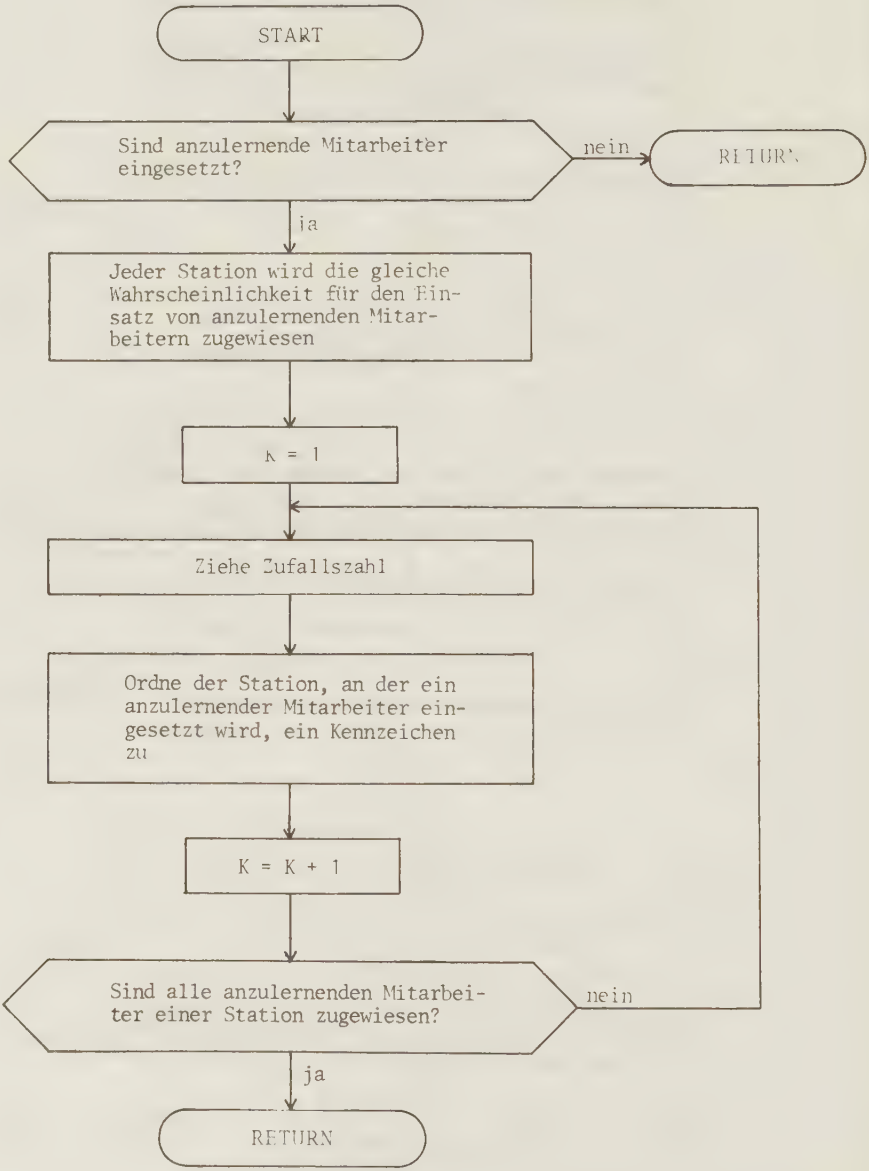


Abb. 59 Unterprogramm ANLERN

festgelegt werden (Einzelheiten vgl. Unterprogramm WEBED).

Da bei einem Montagesystem kaum jemals davon ausgegangen werden kann, daß alle Puffer leer sind, wird hier ein Anfangszustand des Systems generiert.

Zunächst erfolgt für alle besetzten Stationen die Erzeugung einer Bearbeitungszeit (BEA), eines Störzeitpunkts (STZ) und einer Stördauer (STD). Die Unterprogramme BEARB bzw. BEARB1, STOEZ und STDED berechnen diese Werte.

Die Bestimmung des Pufferanfangsbestandes berücksichtigt die Tendenz der Arbeitskräfte, den Pufferinhalt aller Stationen am Ende eines Arbeitstages möglichst niedrig zu halten, und geht von der in Abb. 60 dargestellten Häufigkeitsverteilung des Pufferstandes bei Arbeitsbeginn aus.

Abb. 60 Verteilung des Pufferstandes bei Arbeitsbeginn

Die Wahrscheinlichkeit für Realisierung einer bestimmten Stückzahl in einem der Intervalle sei für alle Werte gleich. Durch Ziehen einer Zufallszahl wird nun für jeden Puffer ein Anfangsbestand fixiert. (Zu diesem Abschnitt vgl. Flußdiagramm Abb. 61.)

In der anschließenden Durchlaufsimulation wird das Minimum aller Bearbeitungs- und Störzeiten aufgesucht (Unterprogrammm MINS) und der Tageszeitzähler um dieses Minimum erhöht (Unterprogramm ZEITZ1). Es folgt die Abfrage, ob Störungen beendet sind. Wenn ja, müssen neue Störzeitpunkte und Stördauern eingesetzt werden.

Stellt eine Bearbeitungszeit das Minimum dar, wird nun geprüft, ob die betrachtete Station das bearbeitete Werkstück abgeben und ein neues Teil aus dem Vorpuffer entnehmen kann. Wenn ja, werden die Pufferinhalte berichtigt und eine neue Bearbeitungszeit für das nächste Werkstück erzeugt. Wenn nein, ergibt sich eine Wartezeit. (Deren Berechnung erfolgt in den Unterprogrammen NACHST oder VORST.) Alle Wartezeiten je Station werden gespeichert.

Gibt die letzte Station ein Teil ab, war also die Bearbeitungszeit der letzten Station das oben ermittelte Minimum, so erhöht sich die Ausbringungsmenge um eine Einheit. Im Unterprogramm MONTF wird untersucht, ob das Teil fehlerhaft ist.

War das ermittelte Minimum ein Störzeitpunkt, fällt die zugehörige Station aus. Die Restbearbeitungszeit wird gespeichert (das heißt, nach Beendigung der Störung wird am gleichen Werkstück weitergearbeitet), an ihrer Stelle die Stördauer eingesetzt und ein Löschkennzeichen festgelegt, das den Zeitpunkt der Wiederinbetriebnahme der Station angibt.

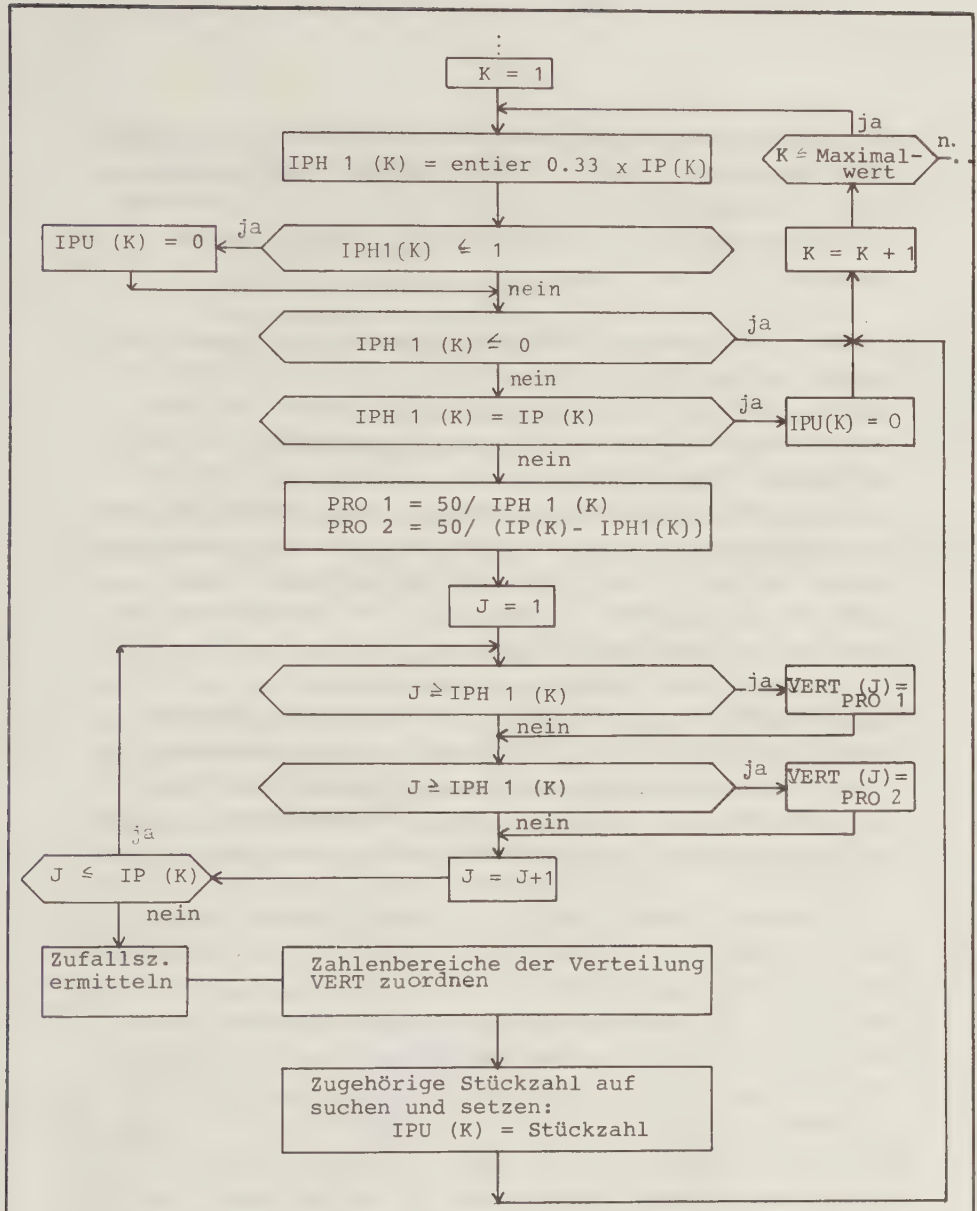


Abb. 61 Pufferanfangsbestände festlegen (Teil des Unterprogramms TAG)

Den "neuen Störzeitpunkt" ersetzt eine große, positive Zahl, die sicherstellt, daß die bereits gestörte Station nicht nochmals "gestört" wird. (Der STZ dieser Station wird nicht als Minimum gefunden.) Alle Stördauern werden außerdem kumuliert.

Aus den nun vorhandenen BEA- und STZ-Werten wird erneut das Minimum aufgesucht und der skizzierte Ablauf so lange wiederholt, bis eine Tageszeitobergrenze erreicht ist. Nach Erhöhung des Tageszählers folgt die Untersuchung, ob für den nächsten Tag eine Änderung der Personenzahl eintritt (Unterprogramm VERKN). Bleibt diese gleich, erhöhen die letzten Tagesergebnisse die bisherigen Gesamtwerte. Ändert sich dagegen die Personenzahl, so wird ein weiterer Tag simuliert. Der Programmlauf endet, sobald die (angegebene) Maximalzahl der Tage erreicht ist.

Sind Platzwechsel zugelassen, ändert sich der skizzierte Ablauf geringfügig. Eine Abfrage nach jeder Veränderung von Pufferständen, ob ein Platzwechselkriterium erfüllt ist, wird eingefügt (Unterprogramm PLATZ). Gegebenenfalls leiten die Unterprogramme PLAWE und PKTW Platzwechsel ein.

Falls ungeübte Arbeitskräfte beschäftigt werden, ist deren Einsatz für alle Stationen gleich wahrscheinlich. Deshalb teilt man das Spektrum aller Zufallszahlen in N gleiche Intervalle (N: Zahl der Stationen). Zufallszahlen, die sich jeweils einem dieser Intervalle zuordnen lassen, geben die Stationen an, die mit ungeübten Mitarbeitern besetzt sind. Zur Kennzeichnung dieser Besetzung erhält die pro Arbeitsplatz definierte logische Variable AEVL(K) den Wert .TRUE.. Konsequenzen ergeben sich hieraus für die Berechnung der Einzelbearbeitungszeiten. Sie erfolgt im Unterprogramm BEARB1 (Vgl. Flußdiagramm Abb. 66).

Zur Bewertung stellt somit das Unterprogramm TAG folgende Informationen zur Verfügung:

- Ausbringungsmenge
- Ausschuß und Nacharbeitszeiten
- Wartezeiten je Station
- Störzeiten je Station

3.2.2.2.5.1. Bearbeitungszeiten

Die Ermittlung der effektiven Bearbeitungszeiten je Station geschieht in Abhängigkeit von der Tageszeit im Unterprogramm BEARB (vgl. Flußdiagramm, Abb. 63).

In zahlreichen Untersuchungen war ein Zusammenhang zwischen menschlicher Leistungsbereitschaft und Tageszeit nachgewiesen worden, den GRAF, O. (1954) im "Tagesverlauf der physiologischen Leistungsbereitschaft" quantitativ erfaßte (vgl. Abb. 62). Unter physiologischer Leistungsbereitschaft ist "- der Grenzwert einer Arbeitsleistung zu verstehen, die ohne besondere Willensanstrengung bewältigt werden kann und infolgedessen mit geringer Ermüdung einhergeht." (ULICH, E., GROSKURTH, P., BRUGGEMANN, A., 1973, S. 17).

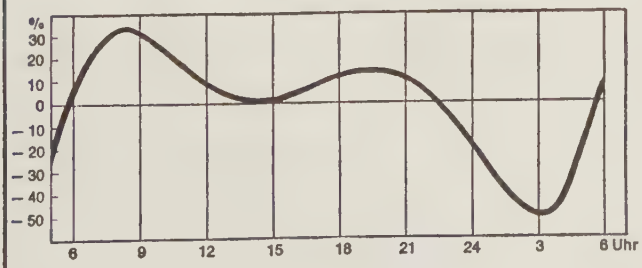


Abb. 62	Tagesverlauf der physiologischen Leistungsbereitschaft

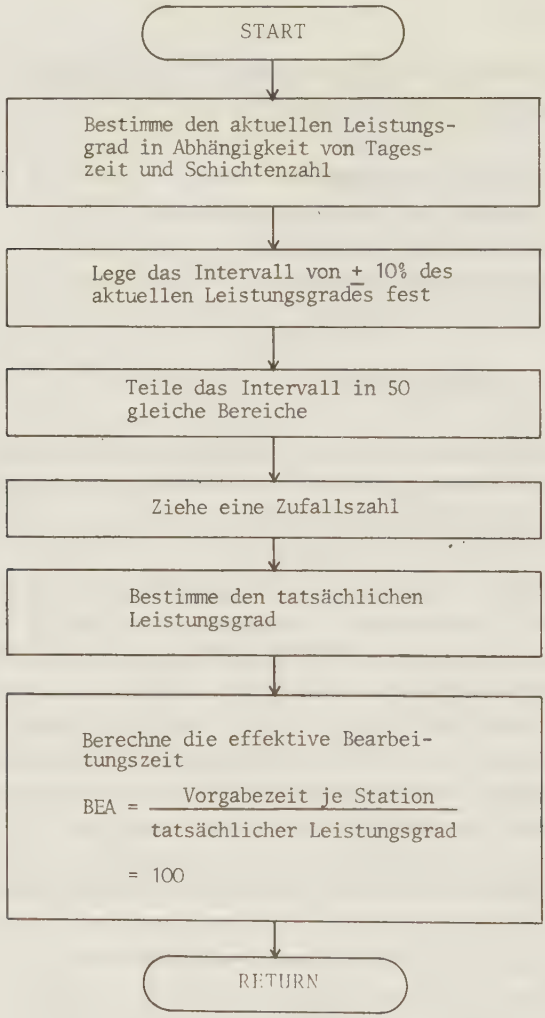


Abb. 63 Unterprogramm BEARB

"Tatsächlich zeigte sich in einer Reihe von Untersuchungen ein dem Verlauf der Leistungsbereitschaft entsprechender Tagesgang der Arbeitsleistung", ... "der sich in einer Variation der tatsächlich benötigten Stückzeiten" (ULICH, E., GROSKURTH, P., BRUGGEMANN, A., 1973, S. 18) äußerte. Dies läßt die Annahme gerechtfertigt erscheinen, auch die Ermittlung von Einzelbearbeitungszeiten an der Tagesrhythmuskurve zu orientieren.

Zur Vereinfachung der Bestimmung des echten Leistungsgrades wird die Tagesrhythmuskurve linear approximiert. Die Geradengleichungen, je Schicht aufgestellt, basieren auf folgenden Arbeitszeiten:

Frühschicht	6.00 - 14.30
Spätschicht	14.30 - 23.00
Hausfrauenschicht	16.45 - 23.00

Der Verlauf der Tagesrhythmuskurve bedingt, daß innerhalb jeder Schicht mehrere Zeitabschnitte zu unterscheiden sind (vgl. Tab. 21). Außerdem wird die von GRAF angegebene Null-Linie als Normalleistung angesehen und erhält den Ordinatenwert 100. (Die übrigen angegebenen Prozentsätze sind entsprechend zu transformieren.) Die Geradengleichungen können nun nach der 2-Punktform [1] aufgestellt werden (vgl. Tab. 21).

---

1) Die 2-Punktform lautet:

$$\frac{Y - Y_1}{X - X_1} = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

vgl. mathematische Formelsammlung.

Tageszeit	Geradengleichung
6,0 - 8,0	y = 14,4 x + 20,8
8,0 - 12,5	y = -6,67 x + 189,33
12,5 - 14,5	y = -3 x + 143,5
14,5 - 19,9	y = 3,15 x + 54,35
19,9 - 22,5	y = -6,54 x + 247,12
22,5 - 23,0	y = -14 x + 415

Tab. 21 Gleichungen zur linearen Approximation der Tagesrythmuskurve

Die Uhrzeit muß dezimal angegeben sein (z.B. 22.30 = 22,5).

Da die berechneten Ordinatenwerte (Y) noch keine echten Leistungsgrade darstellen, muß eine Transformation erfolgen, die Aussagen über die effektive Leistungserbringung zuläßt.

Ausgehend von der Überlegung, daß der Zeitbedarf unabhängig von weiteren Mitarbeitern und sonstigen äußeren Einflüssen ist, wurde als empirischer Wert für die Durchschnittsleistung der an Einzelplätzen im Mittel erreichte Leistungsgrad herangezogen. Dieser lag im untersuchten Unternehmen bei 127 %. [1)]

1) Unterschiede zwischen Früh- und Spätschicht konnten wegen unzureichenden Datenmaterials nicht untersucht werden. Praktische Erfahrungen der Kalkulatoren des Werks lassen jedoch die Annahme eines Durchschnittswertes, unabhängig von der Tageszeit, zu.

Dieser Wert muß sich auch hier, bei Berechnung vieler Bearbeitungszeiten, im Tagesdurchschnitt ergeben. Die notwendige Transformation der berechneten Y-Werte geschieht mit Hilfe eines Faktors, der je Schicht zu bestimmen ist.

Die Forderung ist erfüllt, wenn der Mittelwert aller erzeugten Leistungsgrade dem gewünschten Durchschnitt entspricht.

Dieser Mittelwert (TW) ist durch die Seitenhöhe eines Rechtecks gegeben, das mit der, von den Geraden eingeschlossenen, Fläche identisch ist und die gleiche Grundlinie (Zeitachse) hat.

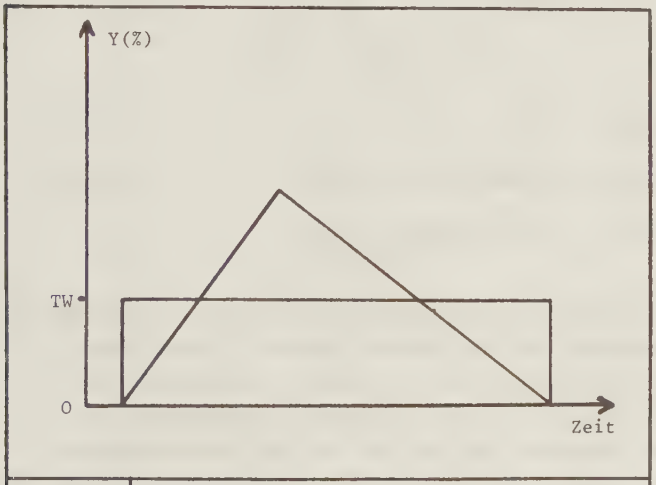


Abb. 64	Prinzipdarstellung zur Ermittlung des Umrechnungsf. für die Ordinatenwerte

Der errechnete Ordinatenwert (Y) wird nun gleichgesetzt mit dem angegebenen durchschnittlichen Leistungsgrad.

Die Transformationsgleichung lautet:

$$LEIST = Y \cdot \frac{DULEI}{TW}$$

LEIST: gesuchter tatsächlicher Leistungsgrad
DULEI: Durchschnittsleistung (empirischer Wert)
TW: Ordinatenwert (vgl. Abb. 64)

Zur Berechnung der effektiven Leistungsgrade wurden, bei Annahme der Durchschnittsleistung von 127 %, die Umrechnungsfaktoren (FU) je Schicht ermittelt (vgl. Abb. 65).
Bei

$$FU = \frac{DULEI}{TW}$$

gilt:

Frühschicht (6.00 - 14.30): $FU = \frac{127}{117}$

Spätschicht (14.30 - 23.00): $FU = \frac{127}{107}$

Hausfrauenschicht (16.45-23.00) $FU = \frac{127}{110}$

Da dennoch individuelle Verschiebungen der Tagesrhythmuskurve und Leistungsschwankungen auftreten können [1], soll die "tatsächliche" Leistung mit Hilfe eines Zufallsprozesses erzeugt werden. Hierzu wird ein Zulässigkeitsbereich von (LEIST $\pm$ 10 %) definiert und willkürlich in 50 gleichwahrscheinliche Intervalle geteilt. Eine Zufallszahl gibt einen dieser Bereiche und so den zugehörigen Leistungsfaktor zur Ermittlung effektiver Bearbeitungszeiten an.

---

1) In Untersuchungen bei Philips wurden zwischen benachbarten Arbeitskräften an Fließbändern Leistungsschwankungen bis über 20 % festgestellt (vgl. BEEK, H.G.v., 1973, S. 21)

Abb. 65 Ermittlung der Umrechnungsfaktoren (FU) zur Transformation der Ordinatenwerte

Die Annahme des Schwankungsbereichs rechtfertigt die Linearisierung der Tagesrhythmuskurve, berücksichtigt mögliche individuelle Verschiebungen und sonstige exogene Einflußgrößen.

Die Bearbeitungszeit einer Station ergibt sich dann aus der Planvorgabezeit je Station (SUTIZ) und dem berechneten Leistungsgrad (LEIST):

$$BEA = \frac{SUTIZ}{\frac{LEIST}{100}}$$

Während der Anlernvorgänge gilt eine modifizierte Berechnung der Bearbeitungszeiten (vgl. Flußdiagramm Abb. 66).

In der Praxis existieren Erfahrungswerte über die Entwicklung des individuellen Leistungsgrads, bis am Ende der Einlernperiode die übliche Leistung erreicht ist. Auf der Basis einer Einlerndauer von 160 Arbeitsstunden, die im hier betrachteten Fall als ausreichend für alle Organisationsformen angesehen wird, erfolgt die Bestimmung des effektiven Leistungsgrads. Die naturgemäß auch hier vorhandene Abhängigkeit von der Tagesrhythmik wird vernachlässigt. An ihre Stelle tritt ein funktionaler Zusammenhang zwischen kumulierter Einlerndauer und Leistungsgrad.

$$LEIST = 0{,}25 \cdot AEVZ + 85$$

LEIST: Leistungsgrad
AEVZ: Zahl der bereits geleisteten Einlernstunden

Diese Gerade stellt in vereinfachter Form den empirisch ermittelten Zusammenhang zwischen Einlerndauer und Leistungsgrad dar (vgl. Abb. 67).

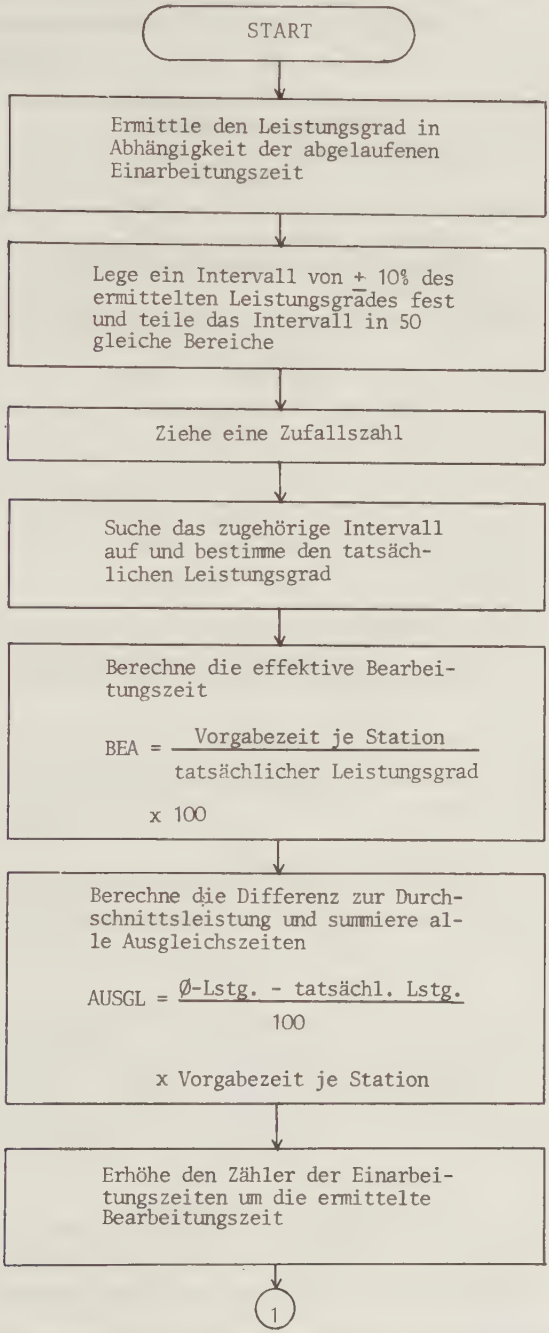


Abb. 66 Unterprogramm BEARB 1

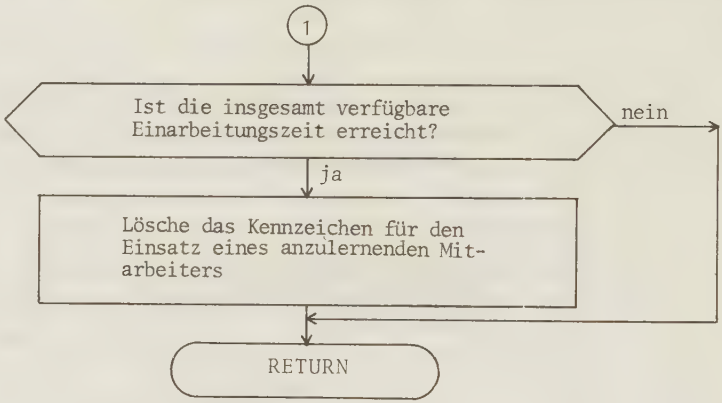


Abb. 66 (Fortsetzung) Unterprogramm BEARB 1

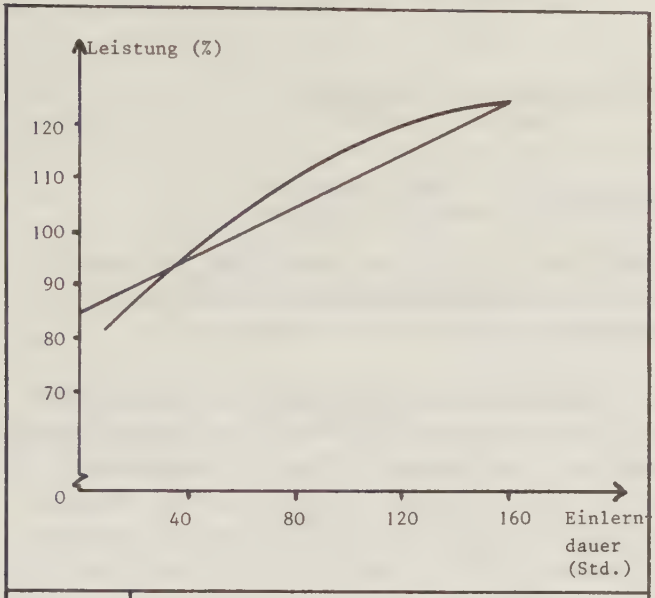


Abb. 67	Darstellung des Leistungsgrades als Funktion der Einlerndauer

Die lineare Approximation erscheint auch hier gerechtfertigt, da bei Ermittlung des "effektiven" Leistungsgrads ebenfalls ein Schwankungsbereich von ± 10 % angenommen wird.

Die Berücksichtigung des Schwankungsbereichs und die Berechnung der Bearbeitungszeit erfolgen wie oben beschrieben (vgl. S. 210).

Die geleisteten Einlernstunden je Person werden kumuliert. Sobald die Obergrenze von 160 Stunden erreicht ist, endet der Einlernprozeß. Die Berechnung weiterer Bearbeitungszeiten für die jetzt "geübte" Arbeitskraft übernimmt das Programm BEARB.

Während der Einarbeitungszeit muß der Arbeitgeber die Differenz aus tatsächlicher und durchschnittlicher Arbeitszeit ausgleichen. Diese Zeitanteile werden summiert und zur Bestim-

mung der Einarbeitungskosten herangezogen.

3.2.2.2.5.2 Stördauern

Das Unterprogramm STOED (vgl. Flußdiagramm Abb. 68) erzeugt Stördauern aufgrund empirisch ermittelter Verteilungen in einem zufallsabhängigen Prozeß. (vgl. S. 282)

Zunächst werden, entsprechend der Häufigkeit einzelner Stördauern, Zahlenbereiche festgelegt und mit Hilfe einer Zufallszahl einer dieser Bereiche aufgesucht. Da im untersuchten Betrieb die Verteilung der Stördauern empirisch nur für 30 Minutenintervalle zu ermitteln war, wird in diesem Programmschritt ein solches Intervall aufgesucht. Die exakte Stördauer ist damit noch nicht bekannt.
Deshalb wird der festgelegte Zeitraum in gleichwahrscheinliche Minutenintervalle aufgeteilt. Im Rahmen eines weiteren Zufallsprozesses findet man dann einen Minutenwert, der, zur Intervalluntergrenze addiert die effektive Stördauer (STD) angibt.

3.2.2.2.5.3. Störzeitpunkte

Das Unterprogramm STOEZ (vgl. Flußdiagramm Abb. 69) dient zur Ermittlung des Zeitpunkts der jeweils nächsten Störung einer Station. Voraussetzung ist die Angabe einer Häufigkeitsverteilung der Abstände aufeinanderfolgender Störungen. Durch Ziehen einer Zufallszahl wird ein Wert der Verteilung aufgesucht und als nächster Störzeitpunkt (STZ) eingesetzt.
Da in der Praxis die Störzeitpunkte an Montagestationen weit auseinanderliegen, sind 300 Minutenintervalle ausreichend.

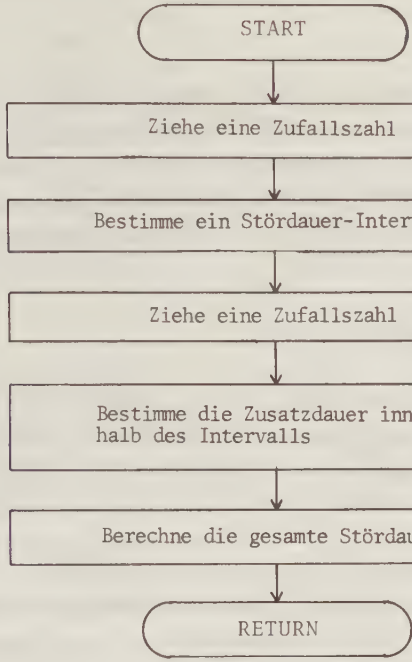


Abb. 68 Unterprogramm STOED

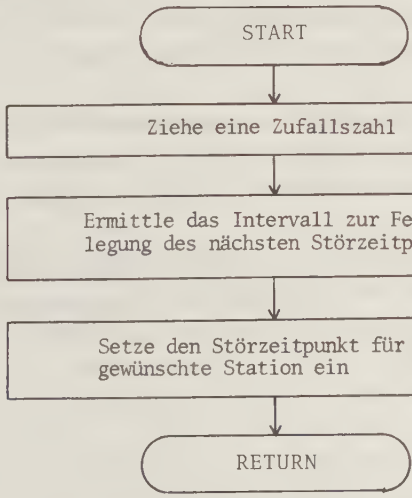


Abb. 69 Unterprogramm STOEZ

Eine weitere Verfeinerung, analog dem Vorgehen im Unterprogramm STOED, wäre auch hier möglich. Da jedoch in der Praxis genauere Daten nicht verfügbar waren und die Prognose von Störungen naturgemäß mit großen Unsicherheiten behaftet ist, soll hier die Angabe der großen Intervalle genügen.

3.2.2.2.5.4. Wartezeitermittlung

Das Unterprogramm NACHST (vgl. Flußdiagramm Abb. 70) übernimmt die Prüfung, wann, bei gefülltem Puffer nach einer Station, die Folgestation aufnahmefähig ist und berechnet die auftretende Wartezeit.

Wenn die nächste Bearbeitungszeit gleich Null ist, gibt diese Station zugleich ein Teil ab. Man muß deshalb, zur Berechnung der Wartezeiten, auch deren Folgestationen und Folgepuffer berücksichtigen.

Kann die Folgestation ein Teil abgeben, bestimmt die restliche Bearbeitungszeit oder Störzeitpunkt + Stördauer die Wartezeit (Unterprogramm STMIN). Sofern auch die Folgestation wegen eines gefüllten Nachpuffers blockiert ist, muß die nächstfolgende Station betrachtet werden usw..

Das Unterprogramm STMIN (vgl. Flußdiagramm Abb. 71) wird aus NACHST zur Berechnung der Wartezeit aufgerufen, wenn ein Störzeitpunkt als begrenzende Größe ermittelt wurde.

Zunächst geben Störzeitpunkt und Stördauer der ermittelten Station die Wartezeit an. Anschließend wird geprüft, ob innerhalb dieses Zeitraums eine weitere Störung eintritt, die die Wartezeit erhöht.

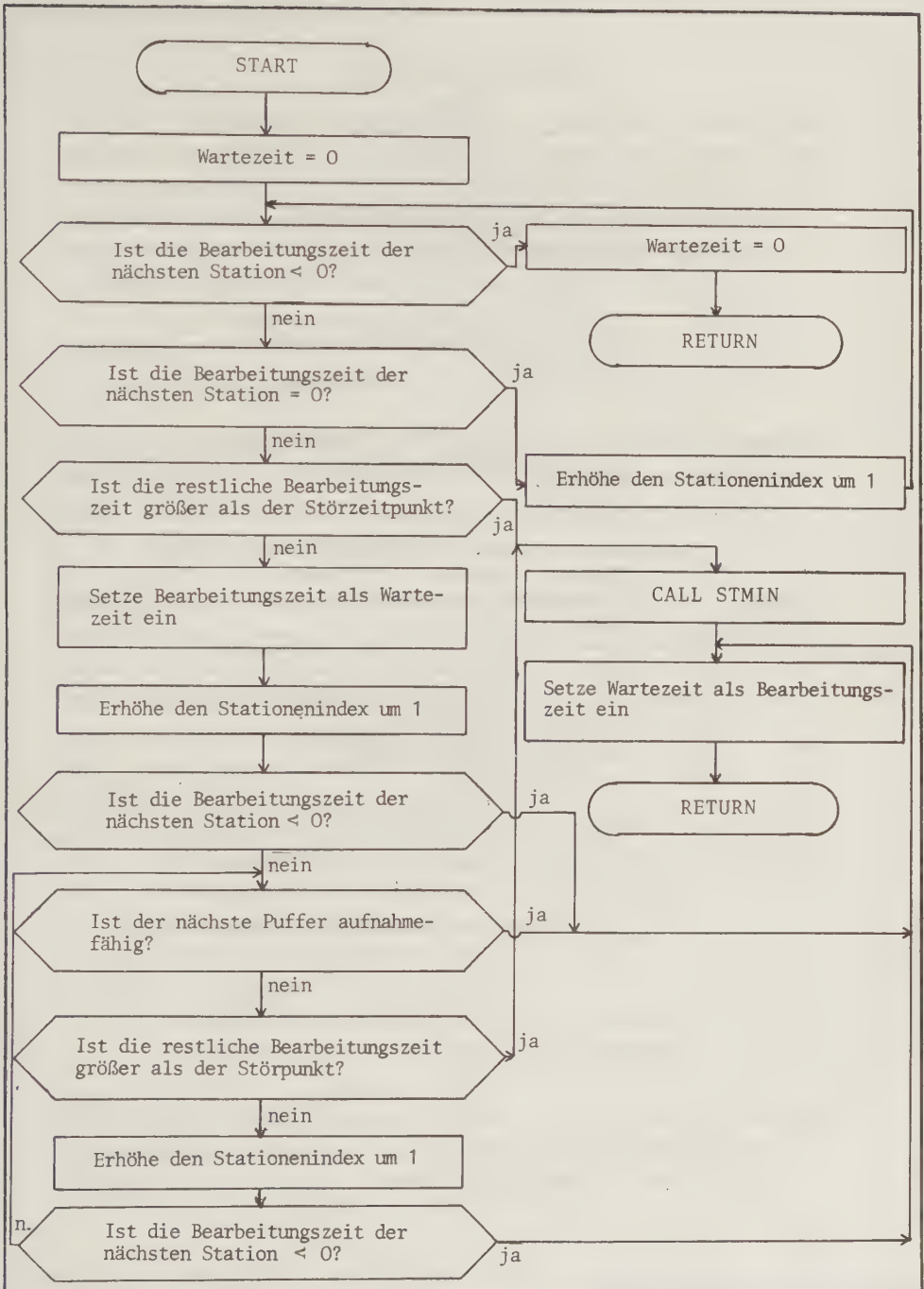


Abb. 70 Unterprogramm NACHST

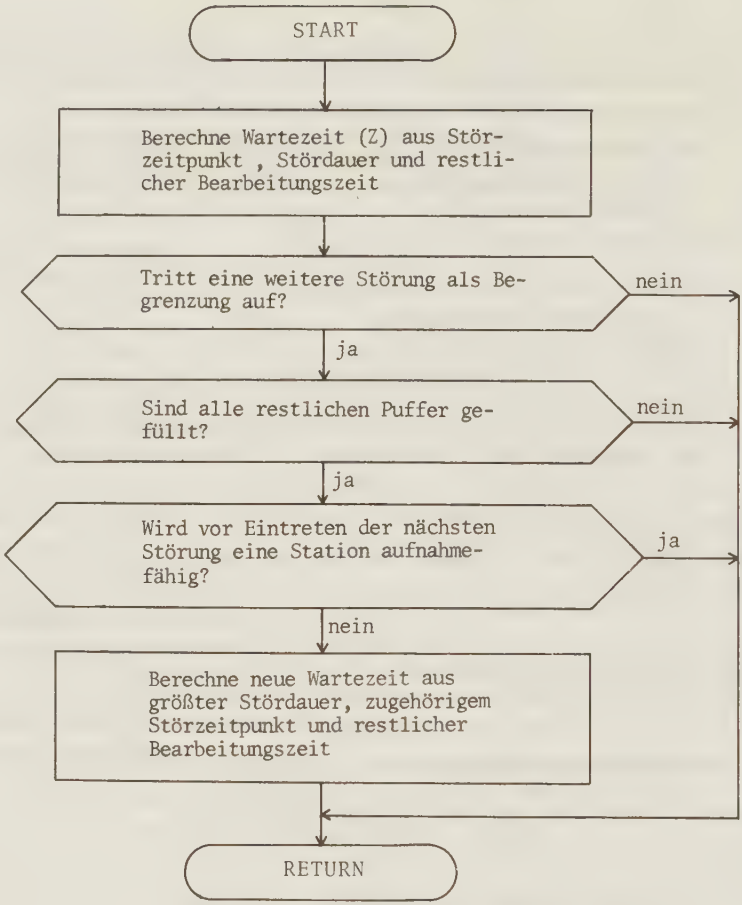


Abb. 71 Unterprogramm STMIN

Ist der Puffer vor einer Station, die ein bearbeitetes Teil abgeben kann, leer, berechnet das Unterprogramm VORST, wann die vorhergehende Station ein Werkstück weitergibt. Die aus Bearbeitungszeit, Störzeitpunkt und Stördauer ermittelte Zeit wird als Wartezeit an der ursprünglich betrachteten Station eingesetzt (Flußdiagramm vgl. Abb. 72).

3.2.2.2.5.5. Montagefehler

Das Unterprogramm MONTF (vgl. Flußdiagramm Abb. 73) ermittelt die Zahl fehlerhafter Teile und die Nacharbeitszeiten. Es wird immer dann aufgerufen, wenn ein fertiges Erzeugnis die Montageeinrichtung verläßt.

Fehler, die im Rahmen der Montageorganisation als entscheidungsrelevant angesehen werden können, sind ausschließlich Montagefehler, die auf menschliche Unzulänglichkeiten wie Nachlässigkeit, mangelnde Konzentration, Gleichgültigkeit o.ä. zurückzuführen sind.

Typische Fehler dieser Art sind:

- Nichtbeseitigen von Verunreinigungen
- Übersehen oder Verursachen von Oberflächenfehlern
- Mangelhafte Lötungen und Schweißungen
- Mangelhafte Klemmverbindungen
- Teile falsch montieren
- Ungenügende Schmierung
- Beschädigungen durch Werkzeughandhabung o.ä.
- nachlässige Einstell- und Justierarbeiten.

Ein Montagefehler kann zu völligem Ausfall eines Teiles oder zu Nacharbeit führen. Im ersten Fall ist ein Zähler für Ausschußteile um eine Einheit zu erhöhen, im zweiten Fall

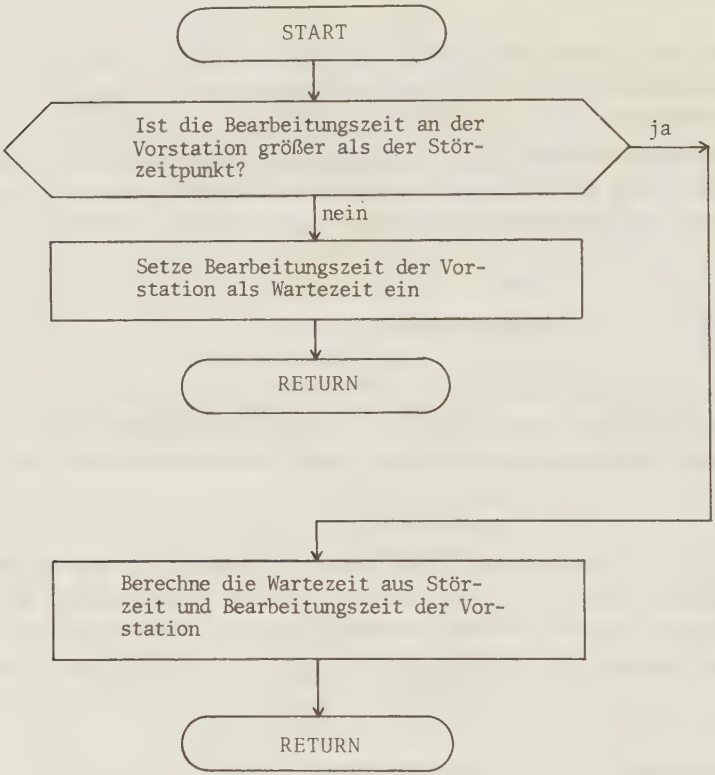


Abb. 72 Unterprogramm VORST

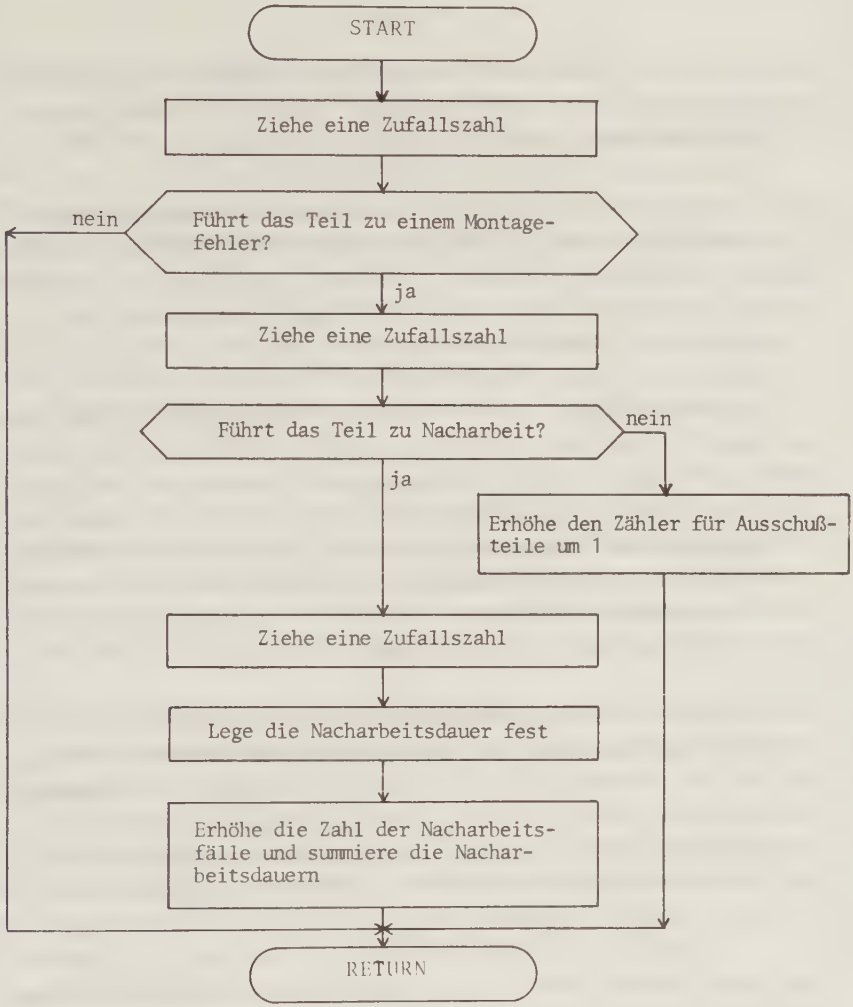


Abb. 73 Unterprogramm MONTF

die Dauer der Nacharbeit zu bestimmen. Fehler, die erst beim Abnehmer der Erzeugnisse auftreten (Garantiefälle), werden im Unterprogramm GARANT behandelt (vgl. Abb. 88, S. 261).

Der Fehlerprozentsatz (FPROZ) gibt die Häufigkeit von Montagefehlern an. Ein zweiter vom Entscheidungsträger angegebener Prozentsatz (PROZN) bestimmt, wie viele der Montagefehler Nacharbeit verursachen. Nur der verbleibende Teil (100 - PROZN) führt zu Ausschuß.

Im Programmablauf wird zunächst der Zufallszahlenbereich so aufgeteilt, daß der Prozentsatz (FPROZ) das Auftreten von Montagefehlern anzeigt. Liegt die dann generierte Zufallszahl in diesem Bereich, bestimmt, nach erneuter Unterteilung des Zahlenspektrums mit Hilfe von PROZN, eine weitere Zufallszahl, ob das Teil zu Nacharbeit oder Ausschuß führt. Zeigt die erste Zufallszahl keinen Fehler an, erfolgt der Rücksprung in das aufrufende Programm.

Falls Ausschuß oder Nacharbeit auftritt, erhöht sich die Zahl der Ausschußteile (NFZAEL). Wird dagegen Nacharbeit fällig, so muß die aktuelle Nacharbeitsdauer, aufgrund der ebenfalls eingegebenen Verteilung der Nacharbeitsdauern (ANACH), generiert werden. Der Zähler für die Kumulierung aller anfallenden Nacharbeiten (ANACHZ) erhöht sich dann um den ermittelten Wert (ANACHA).

Im Unterprogramm MONTF ist unterstellt, daß Nacharbeit immer zu einer vollständigen Reparatur des Teils führt. Außerdem ist angenommen, daß Montagefehler, die Ausschuß oder Nacharbeit verursachen, immer am Ende einer Einrichtung bemerkt werden. Der Ausfall von Erzeugnissen während der Montagearbeiten kann unbeachtet bleiben, da in der Praxis Fehler meist bei der Schlußprüfung bemerkt werden.

3.2.2.2.5.6. Platzwechsel

Für die strukturierten Arbeitssysteme wird im Unterprogramm WEBED (vgl. Flußdiagramm Abb. 74) festgelegt, wann Platzwechsel erfolgen sollen und welche Stationen unbesetzt bleiben, wenn die Zahl der Stationen die Personenzahl übersteigt.

Beim Einsatz anzulernender Arbeitskräfte sollen in strukturierten Systemen Platzwechsel möglich sein. Zur Kennzeichnung dieses Falles erhält die logische Variable (ZWE) den Wert .TRUE..

Sind weniger Personen als Stationen vorhanden, müssen immer Platzwechsel erfolgen, um die Arbeitsfähigkeit des Systems aufrecht zu erhalten. Am Tagesanfang wird, beginnend vom letzten Arbeitsplatz einer Alternative, die erforderliche Zahl von Stationen als unbesetzt gekennzeichnet.

Das Unterprogramm PLATZ (vgl. Flußdiagramm Abb. 75) prüft nach jeder Änderung der Pufferinhalte, ob eine Platzwechselbedingung erfüllt ist.

Sind beim Einsatz von anzulernenden Mitarbeitern Platzwechsel zugelassen, werden sie eingeleitet, sobald der Puffer vor einem anzulernenden Mitarbeiter gefüllt ist. Zur Ermittlung der Zielstation dient der in PKTW berechnete Punktwert.

Stimmen Personen- und Stationenzahl nicht überein, wechselt ein Mitarbeiter zur unbesetzten Station, sobald deren Vorpuffer gefüllt ist. Welche Station nun unbesetzt bleibt, bestimmt der im Unterprogramm PKTW (vgl. S. 231) berechnete Punktwert je Station. Außerdem werden im Unterprogramm PLAWE (vgl. Flußdiagramm Abb. 76) aktuelle Bearbeitungszeit und Störzeitpunkt zwischengespeichert und die unbesetzte Station

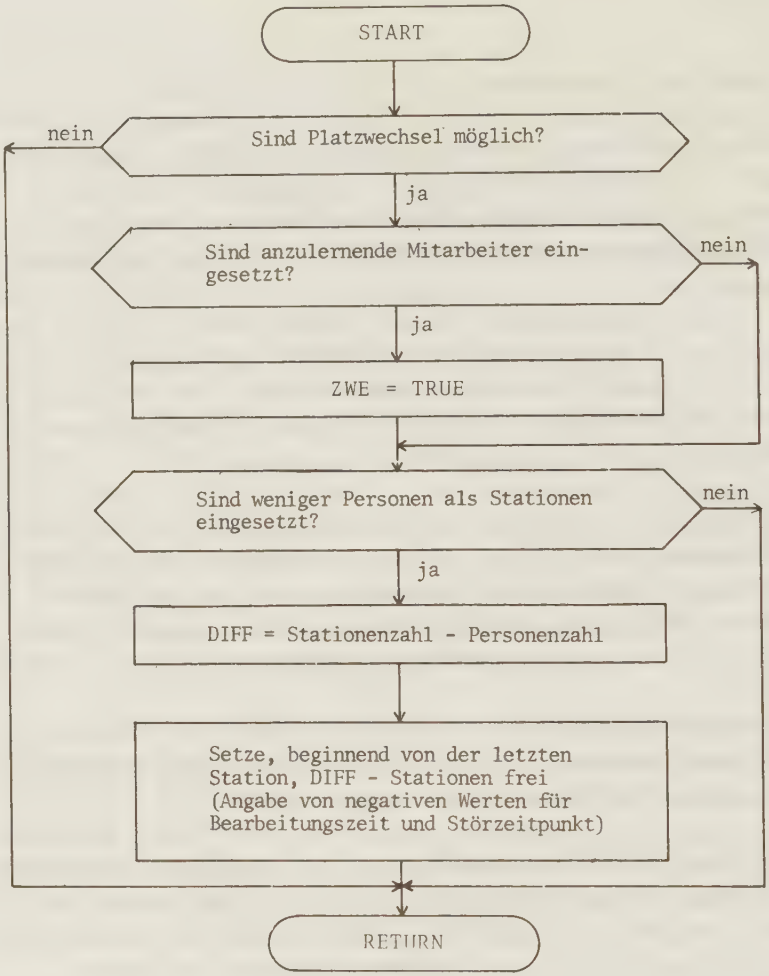


Abb. 74 Unterprogramm WEBED

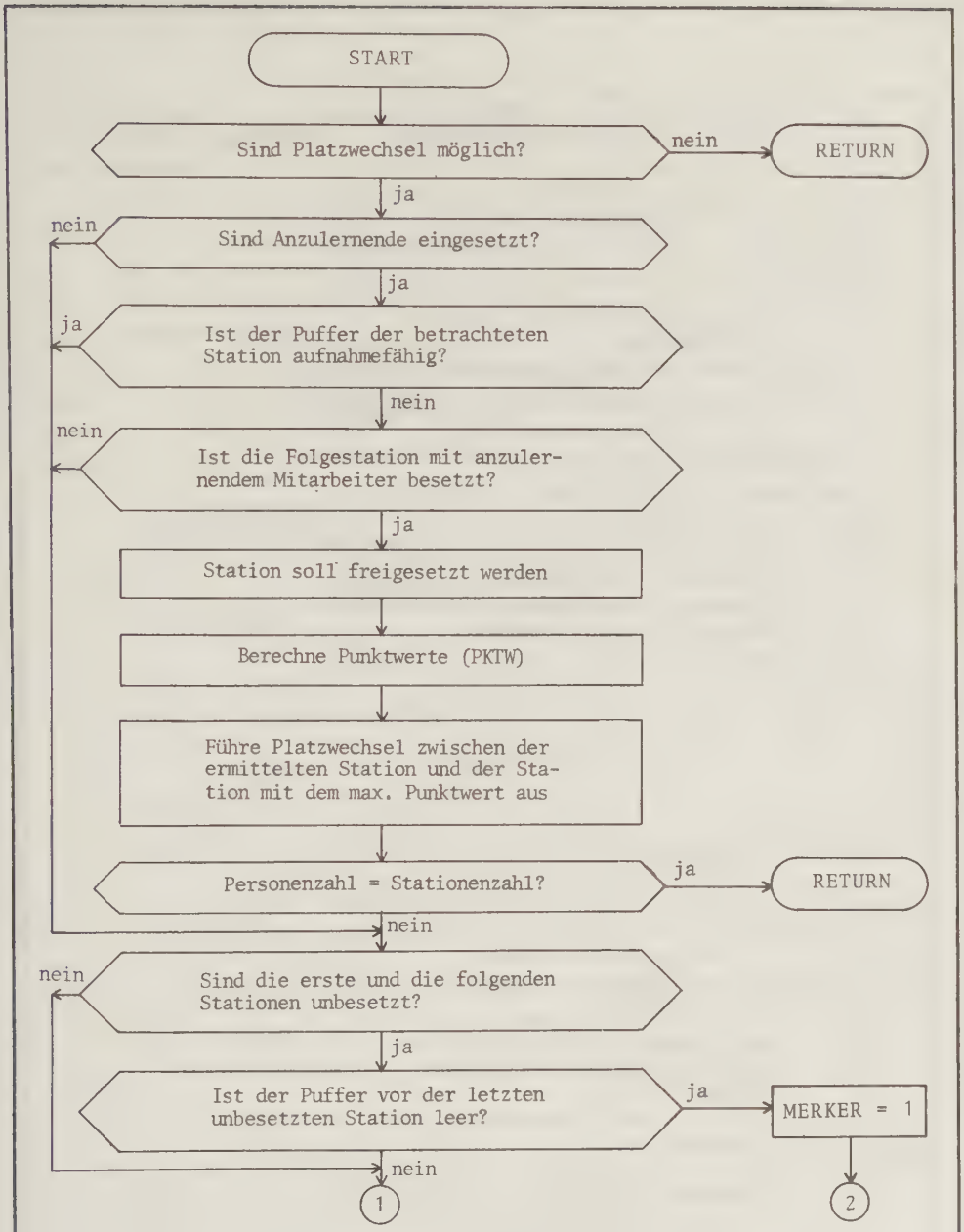


Abb. 75 Unterprogramm PLATZ

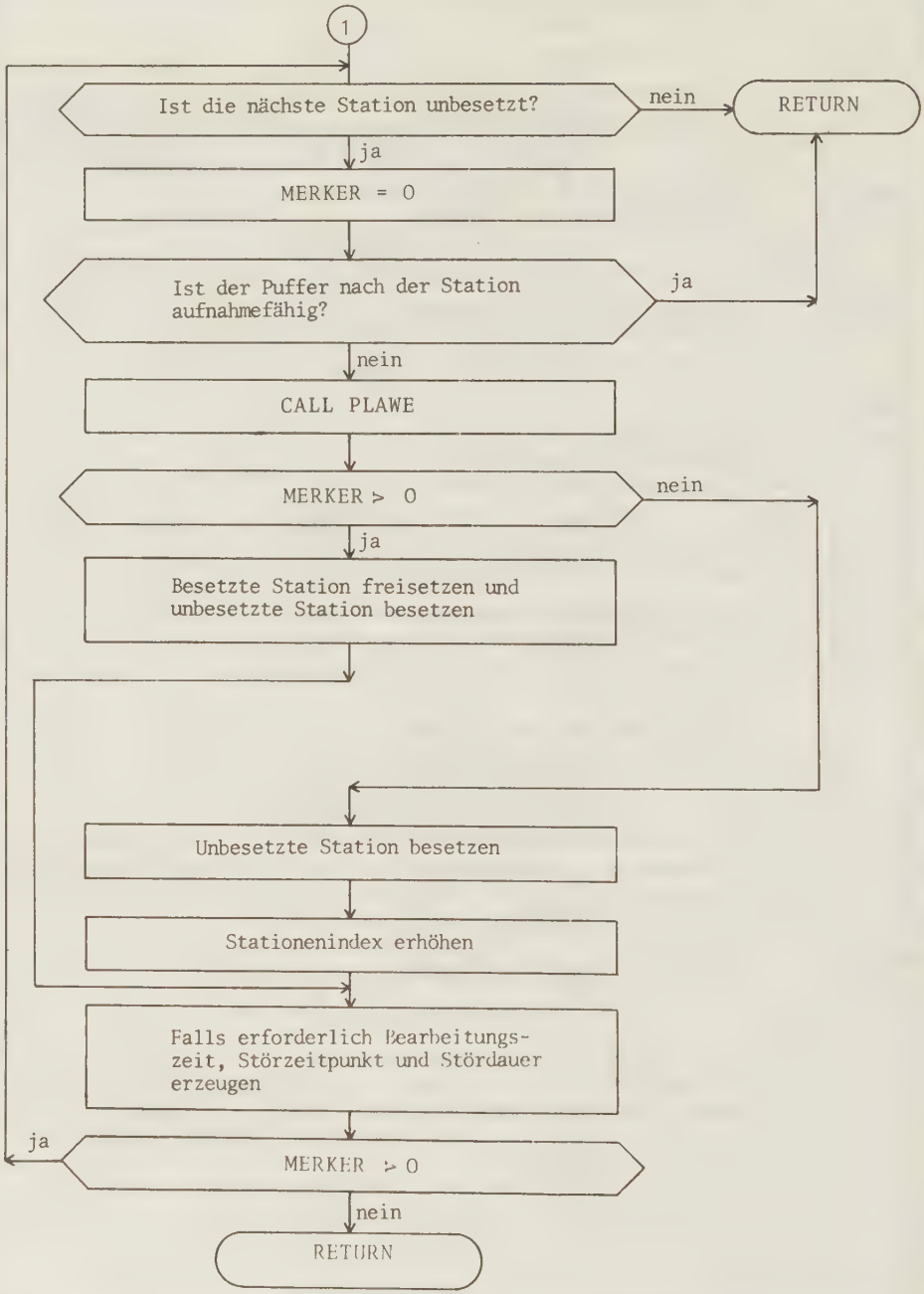


Abb. 75 (Fortsetzung) Unterprogramm PLATZ

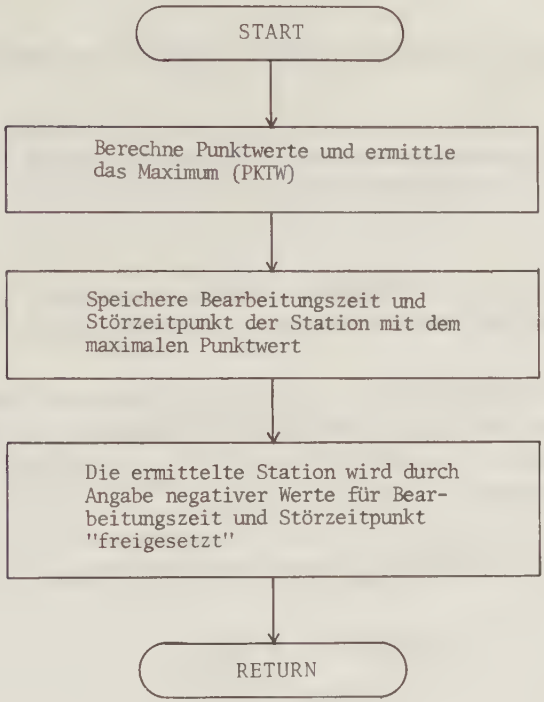


Abb. 76 Unterprogramm PLAWE

durch negative Werte für Bearbeitungszeit und Störzeitpunkt gekennzeichnet.

Die neu besetzte Station erhält Bearbeitungszeit, Störzeitpunkt und Stördauer durch Aufruf der entsprechenden Unterprogramme.

Das Unterprogramm PKTW (vgl. Flußdiagramm Abb. 77) steuert die Platzwechsel durch Berechnung von Punktwerten je Station.

Die Platzwechselvorschrift wird als heuristische Regel festgelegt. Ist ein Platzwechselkriterium erfüllt (vgl. Unterprogramm WEBED), stellt die Station mit dem maximalen Punktwert das Ziel des Platzwechsels dar.

Die Punktwertberechnung erfolgt nach der Vorschrift

$$PKT = \frac{(IPU(Nach)}{IP(Nach)} + \frac{IP(Vor)}{IPU(Vor)} \cdot 100$$

IPU(NACH): aktueller Inhalt des Nachpuffers
IPU(Vor): aktueller Inhalt des Vorpuffers
IP(NACH): Maximalinhalt des Nachpuffers
IP(VOR): Maximalinhalt des Vorpuffers

Eine Station mit gefülltem Nachpuffer und leerem Vorpuffer wird also als Zielstation bevorzugt.

Das ist in folgenden Fällen plausibel:

1) Platzwechsel erfolgen, weil langsamere Mitarbeiter einen neuen Arbeitsplatz einnehmen sollen. Wegen des leeren Vorpuffers kann der Vorgänger ungehindert bearbeitete Teile weitergeben. Der Nachfolger hat genügend Vorrat zur Weiterbearbeitung, so daß durch den langsamen Mitarbeiter erst relativ spät eine erneute Behinderung eintritt.

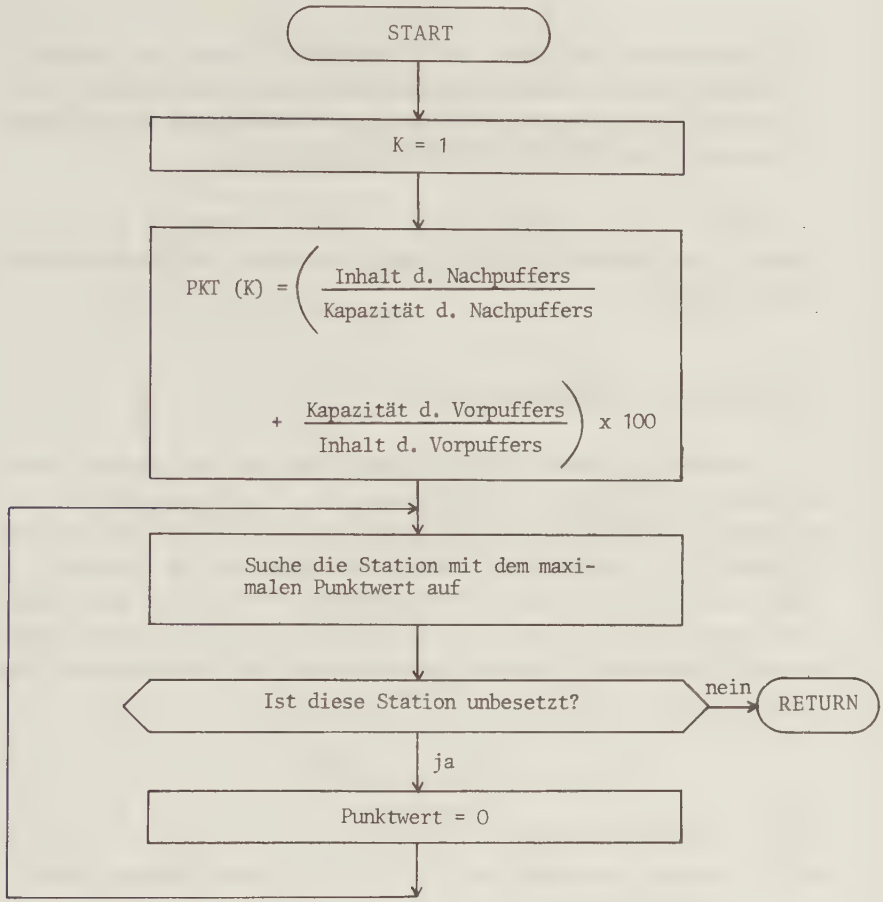


Abb. 77 Unterprogramm PKTW

2) Platzwechsel erfolgen, weil unbesetzte Stationen besetzt werden müssen. Auch in diesem Fall führt ein leerer Vorpuffer und ein gefüllter Nachpuffer erst spät zur Notwendigkeit eines weiteren Platzwechsels.

Da andere Platzwechselbedingungen nicht vorkommen, kann die Auswahl der Wechselstationen immer aufgrund des Punktwertes (PKT) erfolgen.

3.2.2.2.5.7. Zeitführung

Zur Berücksichtigung aller Zeitveränderungen wurde das Unterprogramm ZEITZ1 (vgl. Flußdiagramm Abb. 78) konzipiert.
Im ersten Schritt wird der Tageszeitzähler um das (im Unterprogramm MINS ermittelte) Minimum aus Bearbeitungszeiten (BEA) und Störzeitpunkten (STZ) erhöht. Da BEA und STZ in Minuten angegeben sind, der Tageszeitzähler (TZL) jedoch Stundenangaben erfordert, erfolgt die Anpassung des Minimalwerts durch die Division mit 60.

$$TZL_{neu} = TZL_{alt} + \left(\frac{RMIN}{60}\right)$$

TZL: Tageszeitzähler
RMIN: Minimum aus BEA und STZ, das vom Unterprogramm MINS übergeben wird.

Der zweite Programmabschnitt berücksichtigt, falls nach einer Veränderung von TZL notwendig, die vorhandenen Pausen (vgl. Tab. 22) durch eine entsprechende Erhöhung des Tageszeitzählers.

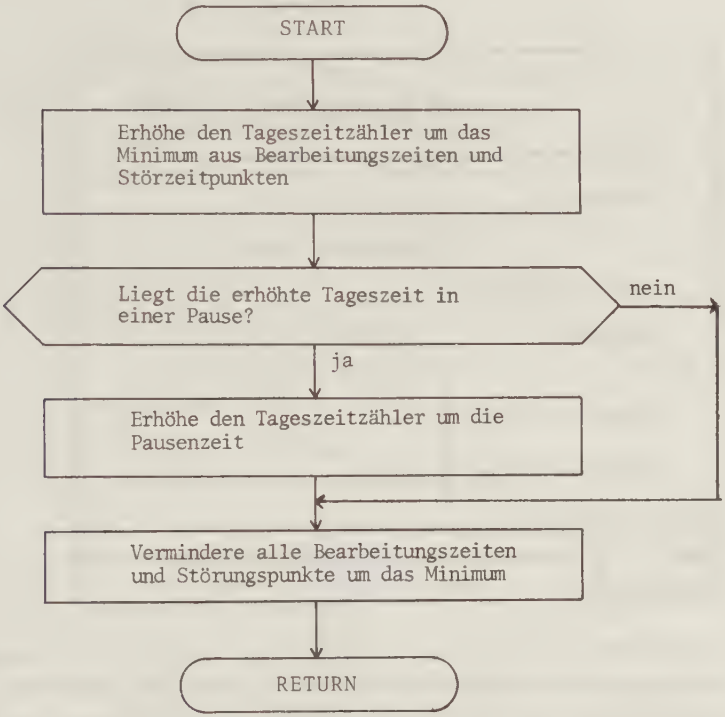


Abb. 78 Unterprogramm ZEITZ 1

	Tageszeit
Frühschicht	9.00 - 9.15 12.00 - 12.15
Spätschicht	16.30 - 16.45 20.00 - 20.15
Hausfrauenschicht	20.00 - 20.15

Tab. 20 In ZEITZ 1 berücksichtigte Pausen

Im dritten Programmteil werden alle Bearbeitungszeiten und Störzeitpunkte um RMIN verringert. Wenn sich nach der Subtraktion von RMIN für BEA oder STZ ein Wert zwischen 0.0001 und -0.0001 ergibt, wird als BEA- oder STZ-Wert 0.0 eingesetzt. Dieses Vorgehen ist notwendig, da bei REAL-Zahlen kleine Ungenauigkeiten in der internen Darstellung der Werte auftreten können, die bei einer Abfrage nach Identität von Werten zu Fehlern führen. (Die Abfrage, ob BEA- oder STZ-Werte gleich Null sind, erfolgt im Unterprogramm TAG.)

3.2.2.2.5.8. Verknüpfung mit Absentismusdaten

Das Unterprogramm VERKN (vgl. Flußdiagramm Abb. 79) leitet jeden neuen Arbeitstag ein. Es verknüpft die im Unterprogramm ABSENT berechneten Beginntage und Dauern von Abwesenheitsperioden mit der Festlegung der Personenzahl im Unterprogramm TAG.

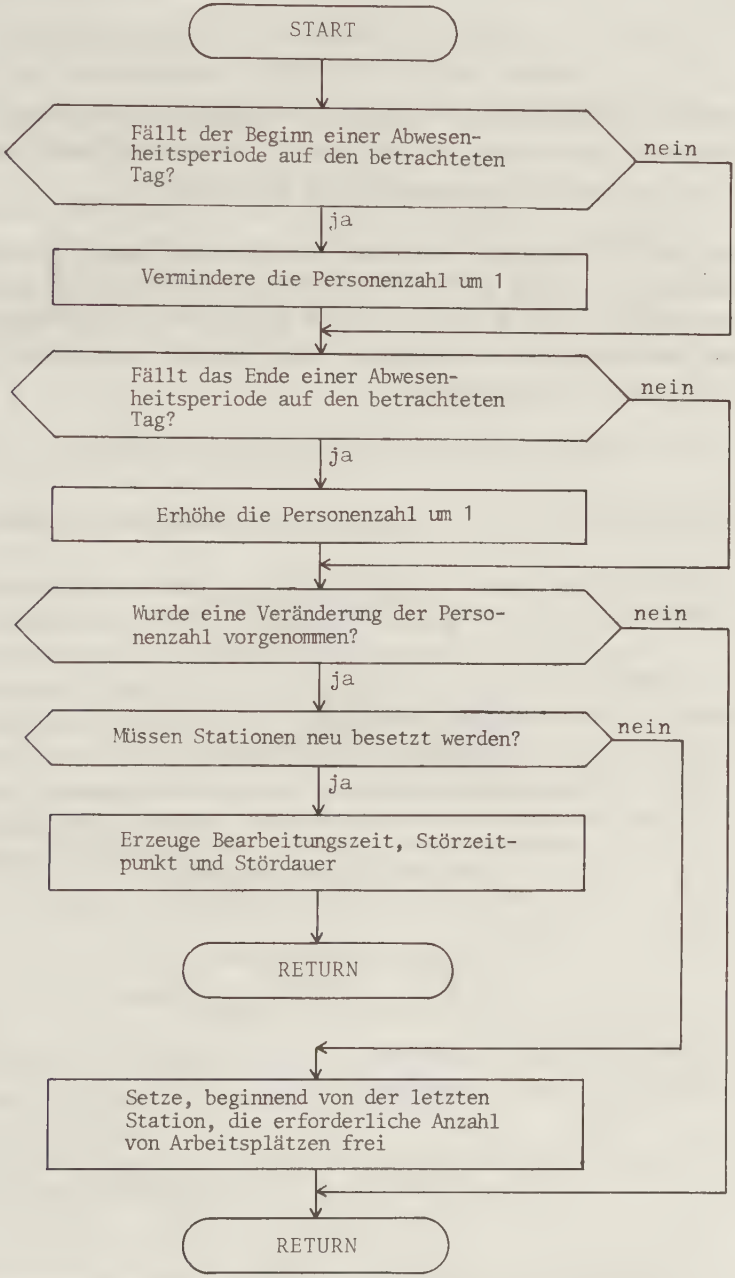


Abb. 79 Unterprogramm VERKN

Wenn auf den aktuellen Arbeitstag Beginn oder Ende einer Krankheit oder eines Urlaubs trifft, reduziert oder erhöht sich die vom Vortag gespeicherte Personenzahl.

Bei der Verringerung der Arbeitskräftezahl werden Stationen freigesetzt, also mit negativen BEA- und STZ-Werten versehen. Bei Erhöhung der Mitarbeiterzahl geschieht die Neubesetzung von Stationen durch Erzeugung neuer Bearbeitungszeiten, Störzeitpunkte und Stördauern.

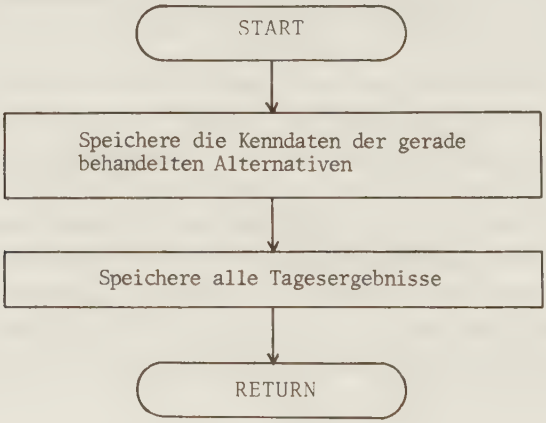


Abb. 80 Unterprogramm SPEICH

Die Ergebnisse jedes vollständig simulierten Arbeitstages werden im Unterprogramm SPEICH (vgl. Flußdiagramm Abb. 80) in Abhängigkeit von Personenzahl und Zahl ungeübter Mitarbeiter gespeichert.

Vor Beginn des nächsten Arbeitstages untersucht das Unterprogramm PRUEF, ob mit der aktuellen Datenkonstellation bereits ein Tag simuliert wurde. Wenn ja, erhöhen sich alle Ergebniszähler um ein Tagesergebnis. Wenn nein, startet das Programm eine weitere Simulation (vgl. Abb. 81).

3.2.2.2.6. Hilfsprogramme zur Durchführung der Simulation

3.2.2.2.6.1. Zufallszahlenerzeugung

Das Unterprogramm ZUF (vgl. Flußdiagramm Abb. 82) erzeugt gleichverteilte vierstellige Zufallszahlen nach einer Kombination der Mid-Square-Methode und der multiplikativen Kongruenzmethode. [1] Das Unterprogramm ZUF war bei KÖSTLER, R. (1975) für zweistellige Zufallszahlen enthalten und wurde hier lediglich zur Erzeugung vierstelliger Zahlen modifiziert. Als Anfangswert (B) muß eine beliebige vierstellige, ganze Zahl eingegeben werden. Die höchste zulässige Zufallszahl (ZUFMAX) beträgt 9999.

3.2.2.2.6.2. Intervallfixierung

Im Unterprogramm INTZUF (vgl. Flußdiagramm Abb. 83) erfolgt die Zuordnung von Zufallszahlenbereichen zu relativen Häufig-

---

1) Diese Verfahren zur Zufallszahlengewinnung sind beschrieben bei: MERTENS, P. (1969, S. 15 ff.)

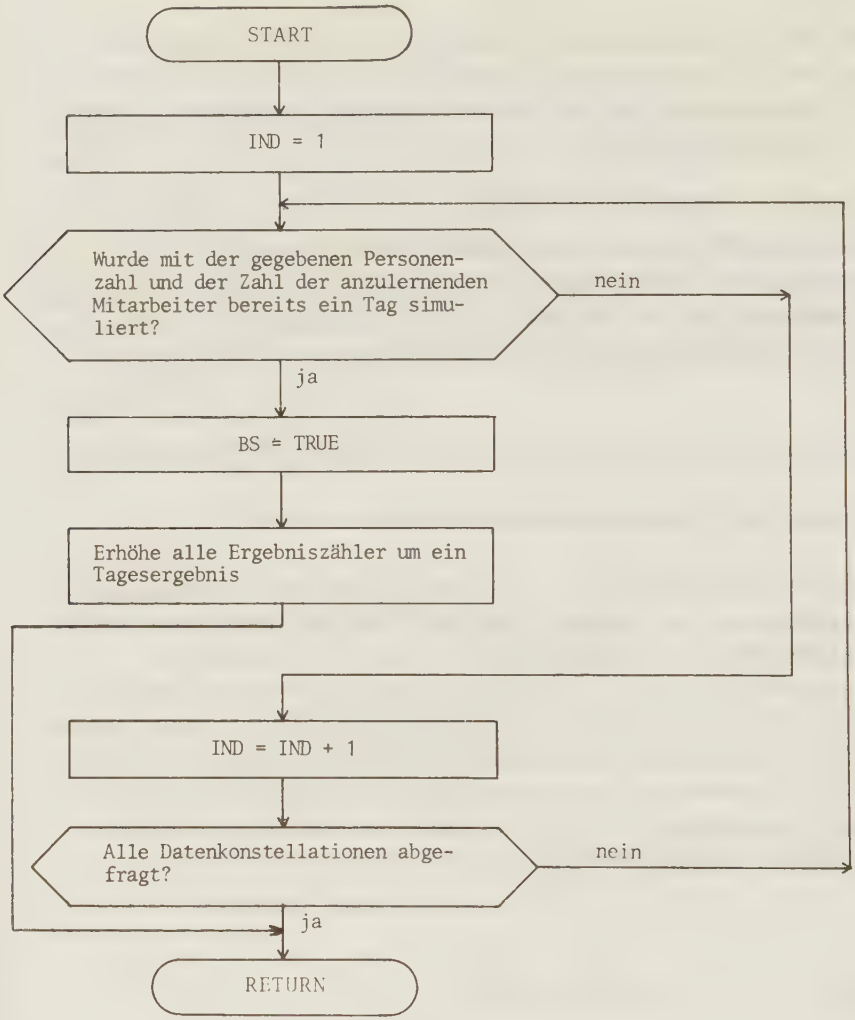


Abb. 81 Unterprogramm PRUEF

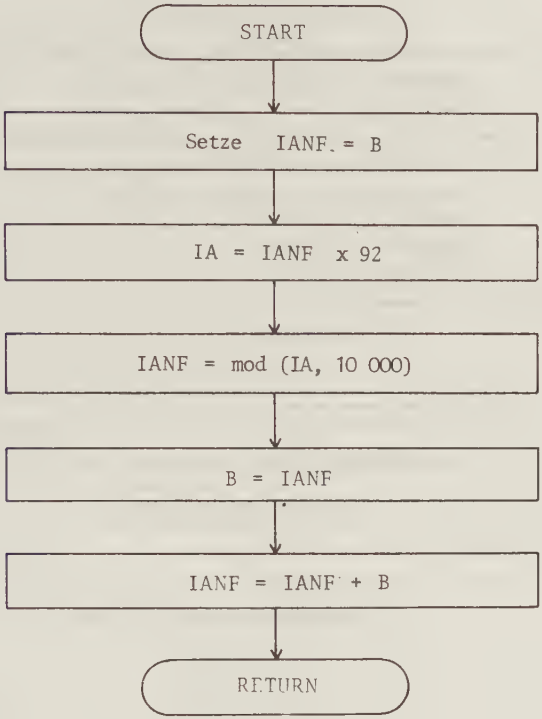


Abb. 82 Unterprogramm ZUF

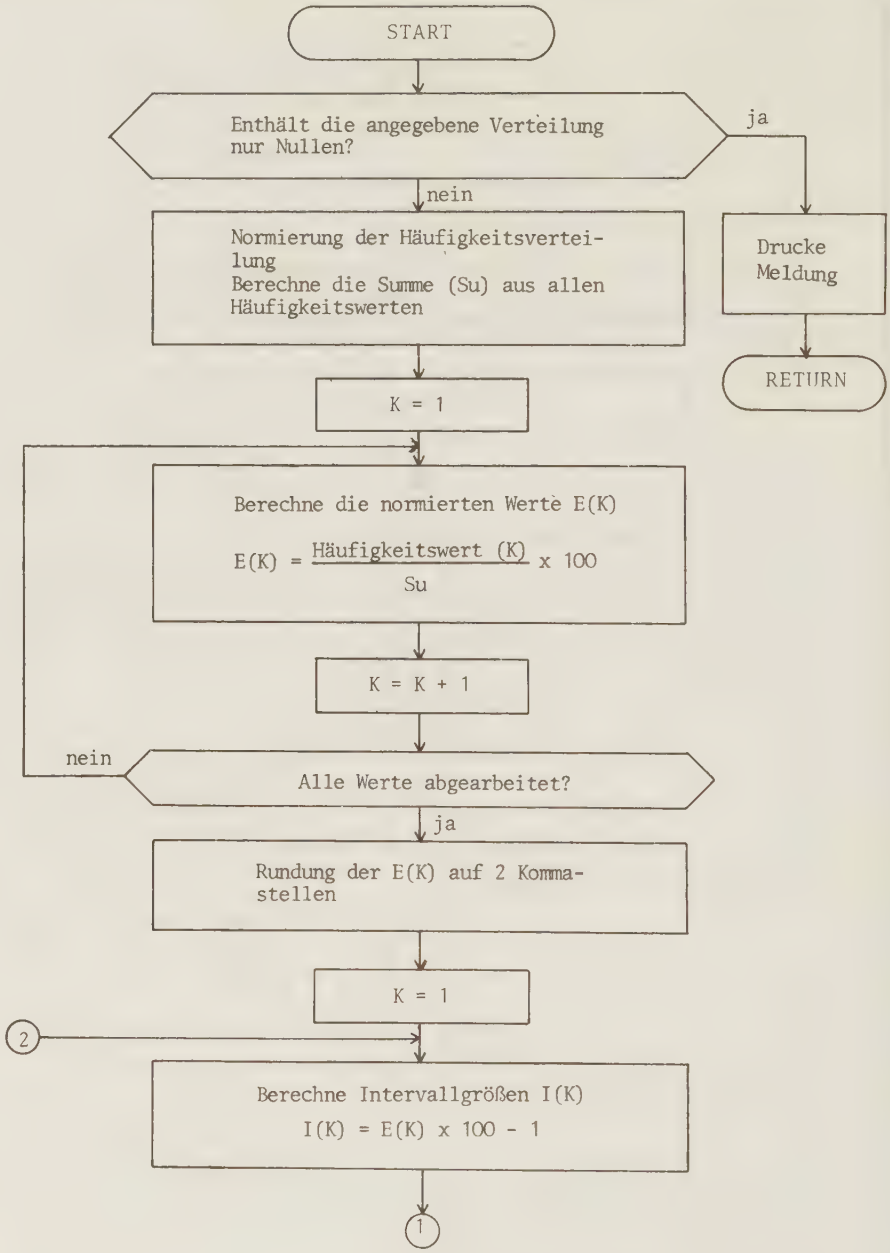


Abb. 83 Unterprogramm INTZUF

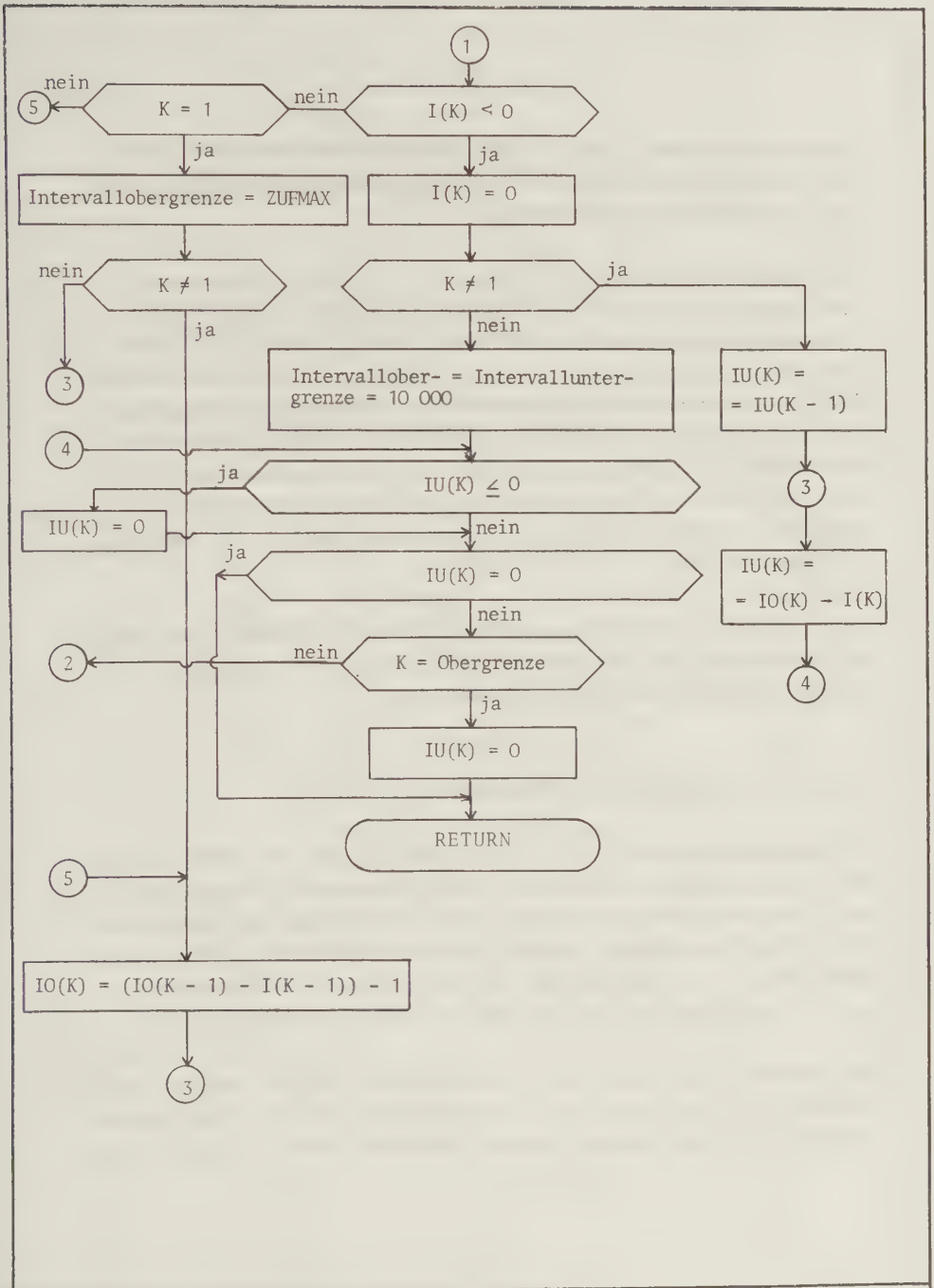


Abb. 83 (Fortsetzung) Unterprogramm INTZUF

keitsverteilungen. (Falls eine absolute Häufigkeitsverteilung gegeben ist, wird diese am Programmanfang normiert und auf 2 Kommastellen gerundet.)

Die vom Unterprogramm ZUF (vgl. S. 237) ermittelten vierstelligen Zufallszahlen erzwingen die Unterteilung des Zufallszahlenspektrums so, daß alle Intervallober- und untergrenzen vierstellig sind. Diese Forderung und die Angabe der Häufigkeitswerte mit 2 Kommastellen bedingen als Obergrenze des Zufallszahlenbereichs den Wert 9999. Hiervon ausgehend wird durch Subtraktion eines mit 100 multiplizierten Wertes der Häufigkeitsverteilung die erste Intervalluntergrenze bestimmt, durch Subtraktion des nächsten Wertes die nächste Untergrenze usw..

Der Ausgleich von Rundungsfehlern (d.h. die Summe aller Werte der Häufigkeitsverteilung ist ungleich 100.00) geschieht durch Anpassung des letzten Intervalls.

3.2.2.2.6.3. Maximum-Minimumsuche

Im Unterprogramm MAX (vgl. Flußdiagramm Abb. 84) erfolgt die Suche des Maximums aus einer Reihe von Werten. Hierzu setzt man zunächst einen beliebigen Wert als Maximum und vergleicht ihn mit allen anderen. Sobald ein Vergleichswert größer ist, löst dieser das Maximum ab. Der Vergleichsalgorithmus wird so oft durchlaufen, bis der höchste Wert ermittelt ist.

Die Suche des Minimums einer Zahlenreihe erfolgt analog. Wenn im Unterprogramm MINS (vgl. Flußdiagramm Abb. 85) zwei Zahlenreihen in verschiedenen Feldern angegeben sind, ermittelt man

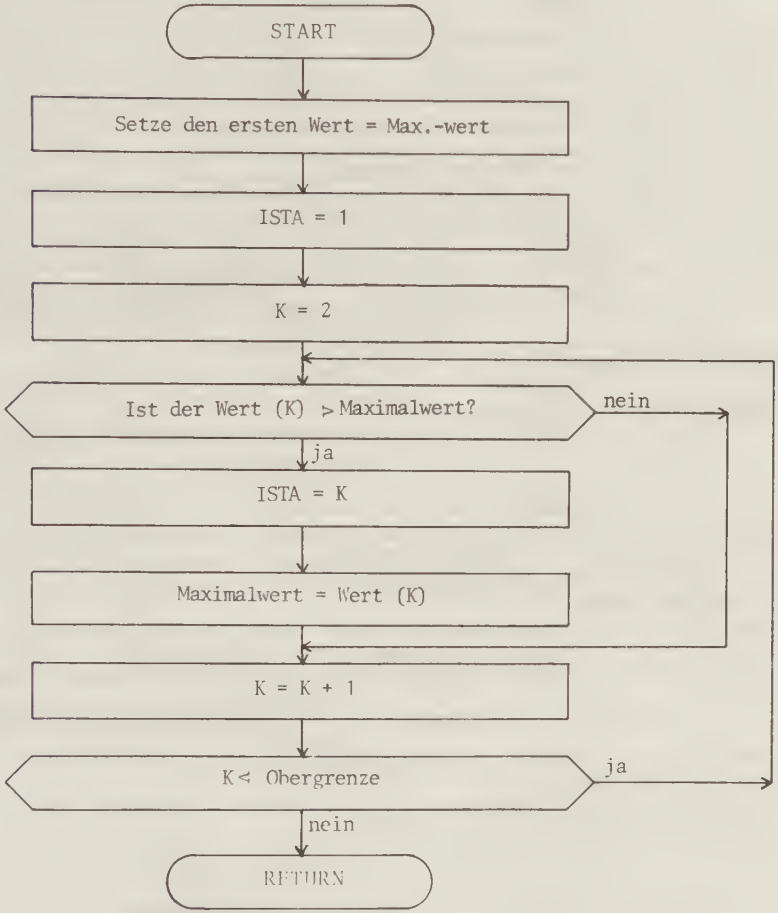


Abb. 84 Unterprogramm MAX

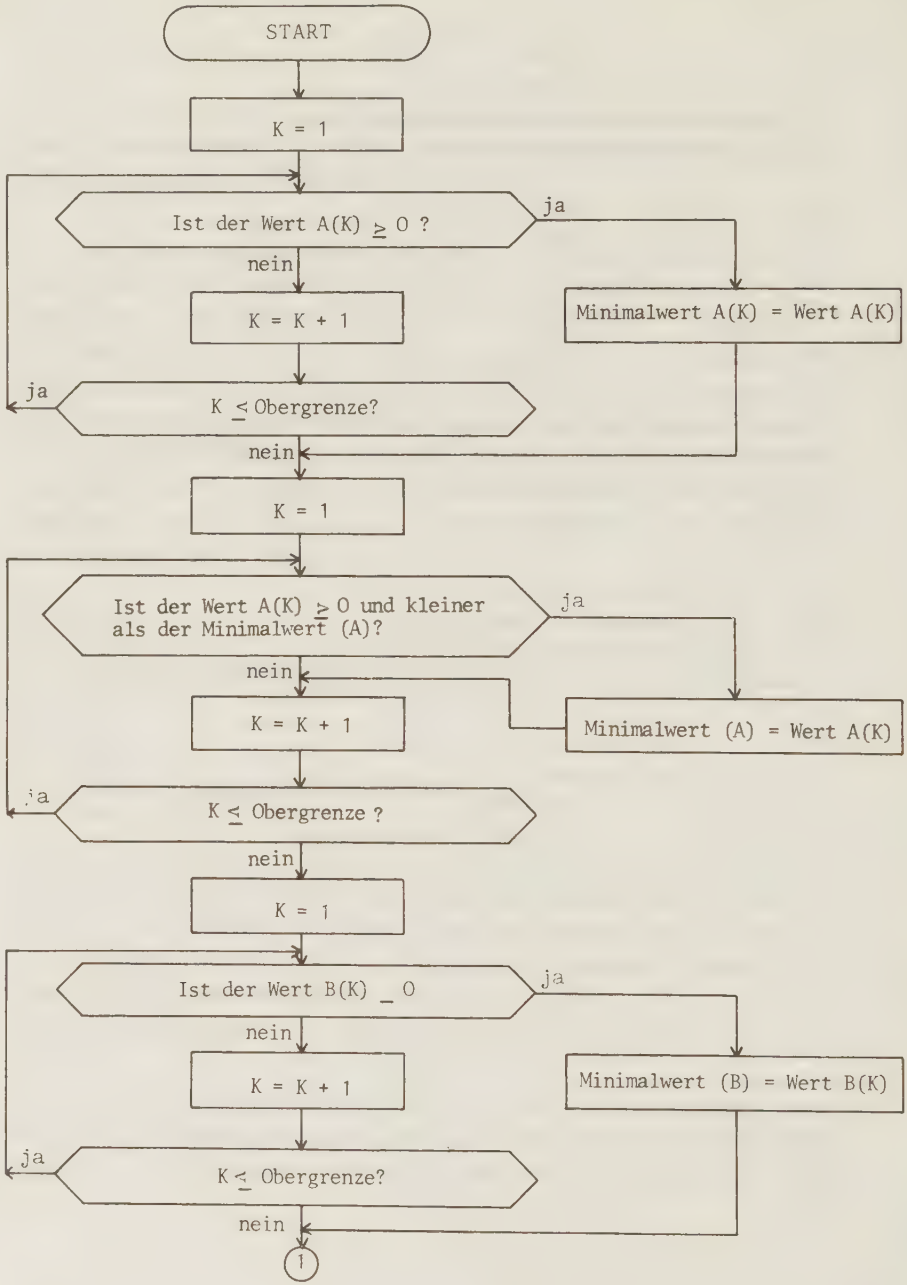


Abb. 85 Unterprogramm MINS

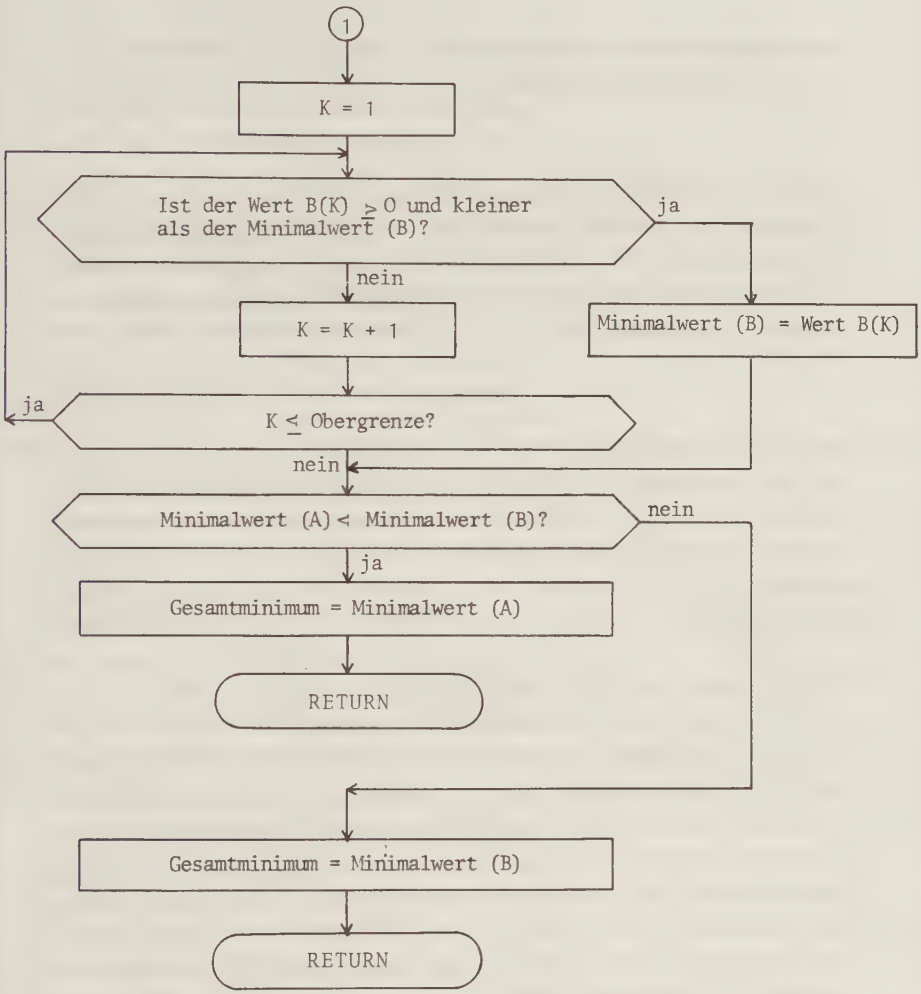


Abb. 85 (Fortsetzung) Unterprogramm MINS

das Minimum beider Zahlenreihen. Negative Einzelwerte bleiben unberücksichtigt.

Diese Einschränkung ist notwendig, weil bei der Suche des Minimums aus Bearbeitungszeiten und Störzeitpunkten (vgl. Programmablauf TAG) negative Werte zur Kennzeichnung unbesetzter Stationen vorkommen können (vgl. Unterprogramm PLAWE), die keinen Einfluß auf die Zeitfortschreibung haben dürfen.

Für die Anordnungsform der gleitenden Abtaktung (vgl. Seite 75) ist das Unterprogramm TAG nicht verwendbar, da per definitionem Wartezeiten infolge schwankender individueller Bearbeitungszeiten nicht auftreten. An die Stelle des Unterprogramms TAG tritt deshalb das Programm GLATA (vgl. Flußdiagramm Abb. 86).

Eine Trennung von Stationen ist nicht möglich. Deshalb geht man von einer fiktiven Bearbeitungszeit (SUBE) aus. Sie ist abgeleitet aus dem gesamten Arbeitsinhalt und der Personenzahl. Für die fiktive Station müssen, wie für das Unterprogramm TAG beschrieben, Bearbeitungszeit, Störzeitpunkt und Stördauer erzeugt werden. Nach Ablieferung eines Fertigteils wird geprüft, ob Montagefehler vorliegen. Der Ersatz des Störzeitpunkts durch eine große Zahl dient zur Kennzeichnung von Störungen. Die Zeitfortschreibung geschieht analog dem Vorgehen im Unterprogramm TAG.

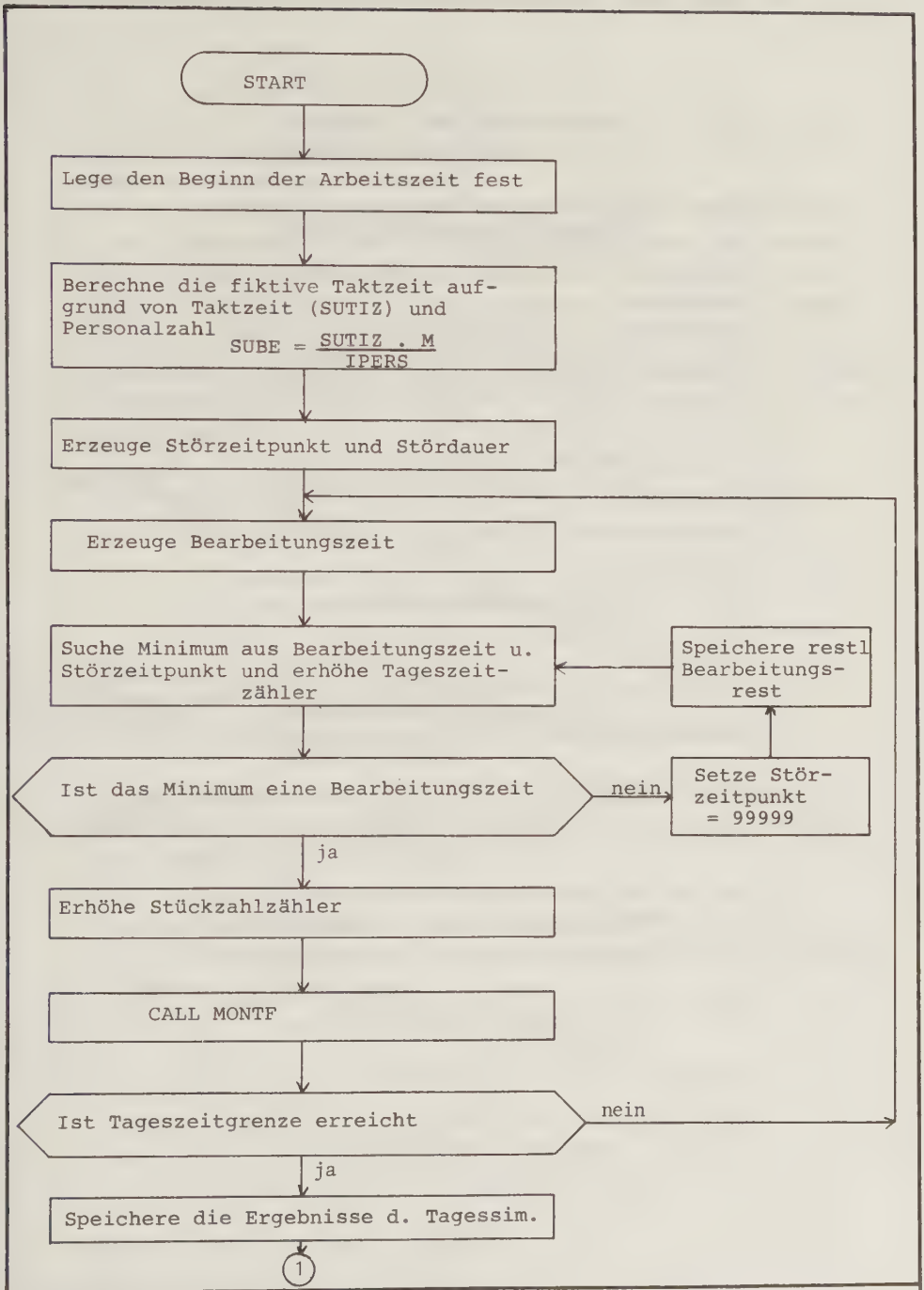


Abb. 86 Unterprogramm GLATA

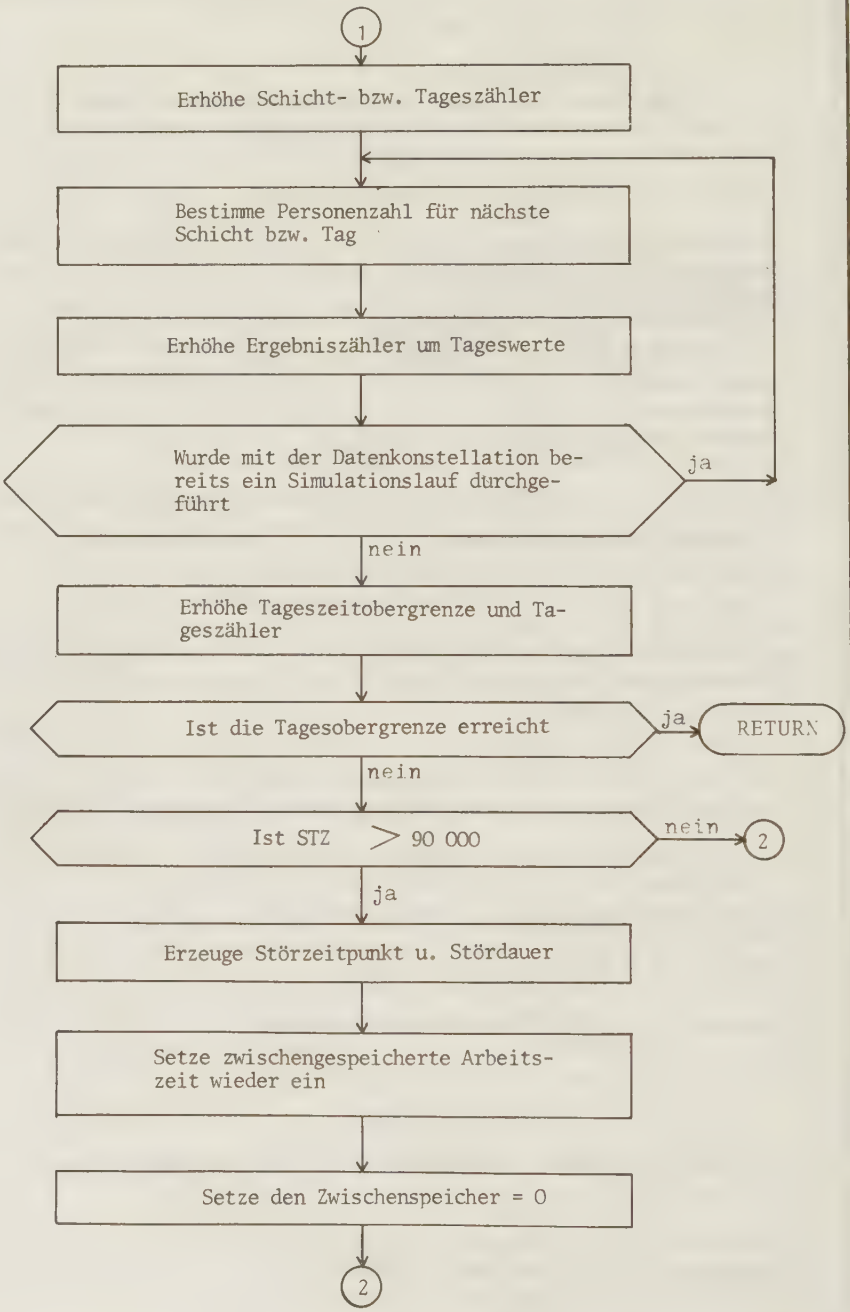


Abb. 86 (Fortsetzung) Unterprogramm GLATA

3.2.2.2.7. Umrechnung in Jahreswerte

Nachdem im Unterprogramm TAG Gesamtstückzahl, Ausschußstückzahl, Nacharbeitsdauer und je Station Wartezeit und Störzeit für eine bestimmte Zahl von Tagen (TAGM) berechnet wurden, müssen diese Ergebnisse in Jahreswerte transformiert werden, um die folgende Investitionsrechnung sinnvoll durchführen zu können. Außerdem erfolgt die Berücksichtigung von Paralleleinrichtungen. Das geschieht im folgenden Abschnitt des Hauptprogramms SIBA.

Zur Transformation aller Ergebnisse in Jahreswerte dient der Korrekturfaktor (FAK):

$$FAK = \frac{252}{TAGM}$$

FAK: Korrekturfaktor
TAGM: Zahl der simulierten Tage
252: durchschnittliche Zahl der Arbeitstage pro Jahr

Durch Multiplikation der errechneten Stückzahl, der Ausschußstückzahl, der Wartezeiten und Störzeiten mit FAK erhält man die gewünschten Jahreswerte.

Zur Berücksichtigung von Paralleleinrichtungen sind anschließend alle Werte mit der Zahl der Paralleleinrichtungen (IPFR) zu multiplizieren.

Wenn Mehrschichtbetrieb vorgesehen ist, steigt der Lohnsatz um 15 %, da ein Schichtzuschlag bezahlt werden muß.

3.2.2.2.8. Bewertung

Im Unterprogramm BEWERT erfolgt die Ermittlung der Zahlungsströme pro Jahr und Alternative.

Folgende Einflußgrößen werden behandelt:
- Lohn- und Lohngemeinkosten für Montagepersonal, Springer, Meister, Vorarbeiter und Werkstatthelfer
- Bewertete Taktverluste
- Störkosten
- Bewertete Wartezeiten
- Raumkosten
- Kosten durch Montagefehler
- Fluktuationskosten
- Kosten durch Absentismus
- Erlöse

Da der Programmteil BEWERT je Alternative einmal durchlaufen wird, genügt es, pro Einflußgröße eine eindimensionale Variable zu definieren und nur die Summe aller Ein- bzw. Auszahlungsströme in einem Feld zu speichern (vgl. Flußdiagramm Abb. 87).

Direkte Lohn- und Lohngemeinkosten

Die direkten Lohn- und Lohngemeinkosten (DILOK) sind unmittelbar abhängig von der produzierten Stückzahl und der vorgegebenen Lohngruppe.

Hier wird vorausgesetzt, daß der Entscheidungsträger einen Minutenfaktor je Lohngruppe angibt. Dieser ist, bei einheit-

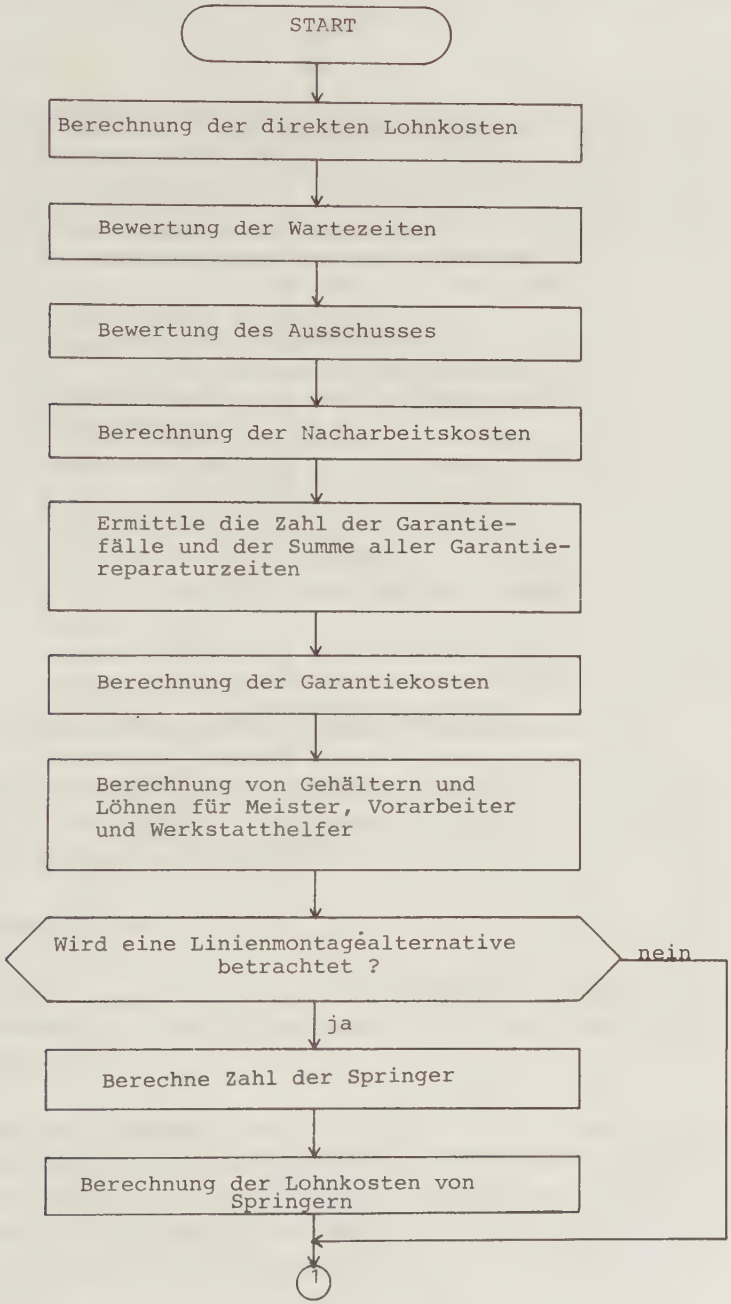


Abb. 87 Unterprogramm BEWERT

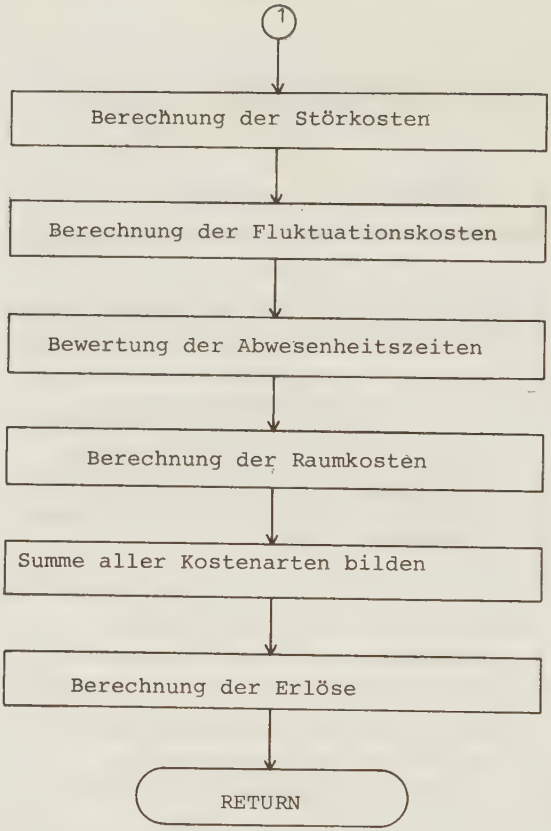


Abb. 87 (Fortsetzung) Unterprogramm BEWERT

licher Einstufung aller Arbeitskräfte je Alternative, gleich dem Minutenfaktor der veranschlagten Lohngruppe. Wenn innerhalb einer Mitarbeitergruppe verschiedene Lohngruppen vorkommen, muß der Minutenfaktor das gewogene Mittel aller Einzelfaktoren sein.

$$DILOK = IST \cdot SUTI \cdot AMINF\ (LOGR) \cdot GKS$$

DILOK: gesamte direkte Lohn- und Lohngemeinkosten
IST: Gesamtstückzahl
SUTI: Vorgabezeit von Minuten pro Stück
AMINF (LOGR): Minutenfaktor der Alternative LOGR
GKS: Gemeinkostenmultiplikator

Wobei:

$$GKS = \frac{GKPL}{100} + 1$$

GKPL: angegebener Gemeinkostenprozentsatz

Der Gemeinkostenprozentsatz wird vom Entscheidungsträger angegeben und bezieht sich auf Kostenarten, die direkt von der Höhe der Lohnsumme abhängen.

Lohnkosten der Springer

Springer sind nur bei Linienmontagealternativen eingesetzt. Für alle anderen Organisationsformen wird dieser Programmteil übersprungen.

Die Größe des Zeitanteils pro Person, die vom Springer übernommen werden muß, bestimmt die Zahl der Springer. Dieser Zeitanteil heißt persönliche Verteilzeit und kann vom Entscheidungsträger eingegeben werden. Die Zahl der von einem Springer betreuten Personen läßt sich daraus errechnen:

$$IPS = \frac{1 - \frac{PVERT}{100}}{\frac{PVERT}{100}}$$

IPS: Zahl der von 1 Springer betreuten Personen (ganzzahlig)
PVERT: eingegebene persönliche Verteilzeit in %

Die nächst kleinere ganze Zahl entspricht der Zahl der betreuten Personen. Die je Alternative erforderliche Anzahl von Springern ergibt sich dann aus

$$ISPZ = \text{entier } \frac{N \cdot IPFR}{IPS}$$

ISPZ: Zahl der erforderlichen Springer
N: Zahl der Stationen je Einrichtung
IPFR: Zahl der Paralleleinrichtungen

In der Praxis liegt die Verteilzeit meist bei 8 %.

Da Springer ebenfalls mit dem Leistungsgrad der betreuten Gruppe entlohnt werden, ist auch ihr Lohn von der Ausbringung abhängig. Die Lohngruppe der Springer liegt, wegen der höheren Qualifikation dieser Mitarbeiter, höher als die der übrigen Gruppenmitglieder. Hier ist eine pauschale Erhöhung des Lohnes um 10 % angenommen.
Es gilt:

$$KSPR = ISPZ \cdot MINA \cdot DULEI \cdot AMINF(LOGR) \cdot 1{,}1 + GKS$$

KSPR: Lohn- und Lohngemeinkosten pro Jahr für Springer
ISPZ: Zahl der Springer
MINA: Zahl der Arbeitsminuten pro Jahr (252 Tage à 480 Minuten ergibt 120.960 Minuten)
DULEI: durchschnittlicher Leistungsfaktor (Angabe)
AMINF (LOGR)·1.1: Minutenfaktor, für Springer um 10 % erhöht

Meistergehälter

Da die Relation Meister - Untergebene von der Organisationsform abhängt (vgl. oben S. 120), kann der Entscheidungsträger mit der Variablen IPERM die Zahl der Personen je Meister festlegen.

$$GKMEI = (\text{entier } \frac{N \cdot IPFR}{IPERM}) \cdot GOM \cdot 12 \cdot GKS$$

GKMEI: Gesamtkosten für Meistergehälter
N·IPFR: Gesamtzahl der Montagepersonen
GOM·12: Jahresgehalt eines Meisters

Löhne der Vorarbeiter

In der Praxis ist die Zahl der Vorarbeiter weitgehend bestimmt von Art und Zahl der betreuten Maschinen, von deren zeitlicher Nutzung und von der Aufgabenverteilung zwischen Vorarbeiter und Montagepersonen.

Da hier, laut Voraussetzung, für alle Alternativen der gleiche Mechanisierungsgrad vorliegt, ist die Zahl der Maschinen je Einrichtung gleich. Wenn Paralleleinrichtungen geplant sind, vermehrt sich die Zahl der Maschinen um ein ganzzahliges Vielfaches. Gleichzeitig nimmt die zeitliche Nutzung der einzelnen Geräte ab, da alle Alternativen für die gleiche Gesamtausbringung konzipiert sind. Daraus folgt, daß bei sonst gleichen Verhältnissen die Zahl der Vorarbeiter für alle Alternativen gleich ist.

Hier jedoch soll eine Veränderung des Verantwortungsbereichs der Vorarbeiter möglich sein (z.B. Übertragung von Einstellarbeiten an Montagearbeiter). Deshalb ist die explizite Angabe der Vorarbeiterzahl je Alternative (EINPER) verlangt.

Der Lohn der Vorarbeiter sei stückzahlunabhängig.

$$GKVOR = EINPER \cdot GVOR \cdot 12 \cdot GKS$$

GKVOR: Gesamtkosten der Vorarbeiterentlohnung
EINPER: Zahl der Vorarbeiter
GVOR·12: Bruttojahreslohn eines Vorarbeiters

Löhne der Werkstatthelfer

Werkstatthelfer übernehmen meist den Transport von Einzelteilen zu Arbeitsplätzen, das Nachfüllen der Teilebehälter und den Abtransport der Fertigteile. Ihr Arbeitsaufwand ist abhängig von den Transportwegen und der Häufigkeit, mit der die Teilebehälter zu füllen sind. Da Unterschiede zwischen den Alternativen nur schwer erfaßt werden können, erfolgt auch die Angabe der Werkstatthelferzahl (HILP) durch den Entscheidungsträger. (Auch Werkstatthelfer erhalten Zeitlohn.)

$$GKHIL = HILP \cdot GHILP \cdot 12 \cdot GKS$$

GKHIL: Gesamtkosten der Werkstatthelferentlohnung
HILP: vorgegebene Zahl der Werkstatthelfer
GHILP·12: Bruttojahreslohn eines Werkstatthelfers

Bewertung der Taktverluste

Taktverluste treten nur bei Linienmontagealternativen auf. Ihre Bewertung erfordert die Berücksichtigung von
- zusätzlichen Lohnkosten und
- entgangenen Deckungsbeiträgen.

Die erhöhten Lohnkosten gehen durch die Vorgabezeiterhöhung zu Beginn des Hauptprogramms SIBA (vgl. S. 176) bereits in die Berechnung der direkten Lohnkosten ein.

Die entgangenen Deckungsbeiträge sind gleichfalls bereits berücksichtigt, da sich die erhöhte Vorgabezeit unmittelbar auf die erreichte Gesamtstückzahl (Unterprogramm TAG) auswirkt. Diese Überlegung gilt sinngemäß ebenfalls für die Bewertung von Stör- und Wartezeiten, da auch dort die Auswirkung auf die erreichte Gesamtstückzahl durch die Konzeption des Programmteils TAG beachtet wird.

Störkosten

Während des Stillstandes einer gestörten Station erhält der wartende Mitarbeiter weiter Lohn. Da eine Leistung während dieser Zeit nicht erbracht werden kann, muß sich der Lohnausgleich an der Durchschnittsleistung orientieren.

$$GLKSTZ = GSTZ \cdot AMINF\ (LOGR) \cdot DULEI \cdot GKS$$

GLKSTZ: Gesamtlohnkosten der Störungen
GSTZ: Gesamtsumme der Stördauern aller Stationen (Kumulierung des Feldes SOS aus TAG)

Eine Bewertung der Reparaturen mit Materialkosten soll nicht erfolgen, da bei gleicher Mechanisierung aller Alternativen die gleiche Zahl von Störungen angenommen wird. Zusätzliche Lohnkosten für Reparaturpersonal bleiben ebenfalls unbeachtet, da meist vorhandene Vorarbeiter (oder Montagearbeiter) die Reparaturen ausführen. Der evtl. nötige Einsatz von Hilfskräften, wie Schlossern oder Elektrikern darf nicht bewertet werden, da die Existenz dieser Hilfskräfte als nicht entscheidungsrelevant vorausgesetzt ist.

Wartungskosten

Wartungsarbeiten sind abhängig von der Maschinenausstattung und der zeitlichen Nutzung der Einrichtungen.

Das heißt, daß auch die Wartungsarbeiten bei gleichem Mechanisierungsgrad und bei Installation von Paralleleinrichtungen(mit abnehmender zeitlicher Nutzung der einzelnen Anlagen) für alle Alternativen gleich sind und hier nicht erfaßt werden müssen.

Bewertete Wartezeiten

Zur Bewertung der Wartezeiten muß der bezahlte Lohn errechnet werden. Auch hier ist der durchschnittliche Leistungsgrad (DULEI) in die Berechnung einzubeziehen.

$$BWZB = \left(\sum_{i=1}^{N} WZ_i \right) \cdot AMINF(LOGR) \cdot DULEI \cdot GKS$$

BWZB: Gesamte Lohnkosten für Wartezeiten

WZ_i: Wartezeit an der Station i

Raumkosten

Raumkosten dürfen die Entscheidungsfindung nur beeinflussen, wenn ihre Entscheidungsrelevanz gewährleistet ist. In einer kurzfristigen Betrachtung sind Raumkosten nicht anzusetzen, da verursachende Größen wie Miete, Heizung, Licht usw. nicht eingespart werden können.

Langfristig ist zu beachten, daß bei Neuplanung die Raumgröße und damit die Raumkosten voll variabel und in voller Höhe relevant sind.

Wenn die einzelnen Alternativen unterschiedliche Flächen belegen und, wie in einem Konzern üblich, angenommen werden kann, daß auch eine Flächennutzung mit anderen Einrichtungen erfolgen könnte, erscheint es gerechtfertigt, Raumkosten anzu-

setzen, die als Opportunitätskosten zu interpretieren sind. In der Praxis sind jedoch meist exakte Informationen zur Festlegung der Opportunitätskosten nicht vorhanden, so daß man sich mit Pauschalsätzen zur Flächenbewertung (kalkulat. Miete) begnügen muß, die derartige Einflußgrößen enthalten.

Diese kalkulatorische Miete beeinflußt betriebliche Entscheidungen tatsächlich, da bei Flächenbelegung oder -freisetzung Miete an die Konzernmutter aufgewendet oder eingespart wird.

$$RAK = FLAE \cdot RAKOS$$

RAK: Gesamte Raumkosten
FLAE: Flächenbedarf der Alternative (m^2)
RAKOS: Raumkostensatz je m^2

Kosten durch Montagefehler

Der durch Montagefehler entstandene Ausschuß (NFZAEL) wurde im Unterprogramm MONTF errechnet und ist mit Material-, Lohn- und direkten Energiekosten zu bewerten. Falls ein Schrotterlös erzielbar ist, müssen die Materialkosten um diesen Betrag vermindert werden.

$$AUSK = NFZAEL \cdot (AMATK + (SUTI \cdot AMINF(LOGR) \cdot GKS) + EK - SCHE)$$

AUSK: Gesamtkosten durch Montagefehler
NFZAEL: Ausschußstückzahl
AMATK: Materialkosten je Stück (Eingabe)
SUTI: Vorgabezeit in Minuten je Stück
AMINF(LOGR): Minutenfaktor der Alternative
EK: Energiekosten je Stück (Eingabe)
SCHE: Schrotterlös je Stück (Eingabe)

Die Nacharbeitskosten ergeben sich aus den Lohnkosten für die in MONTF ermittelte Nacharbeitsdauer (ANACHZ) und aus dem meist erforderlichen zusätzlichen Materialeinsatz je Nacharbeitsfall (NAZ).

ANACHK = ANACHZ · AMINF(LOGR) · GKS + AMATKN · NAZ

ANACHK: Nacharbeitskosten
ANACHZ: Gesamte Nacharbeitszeit in Minuten
AMATKN: Durchschnittliche Kosten für zusätzlich notwendiges Material
NAZ: Zahl der Nacharbeitsfälle

Durch Montagefehler entstehen auch dann Kosten, wenn die Fehler erst beim Kunden entdeckt werden, also zu Garantiebeanstandungen führen. Das erfordert auch die Berücksichtigung des Garantiekostenteils, der auf entscheidungsrelevante Montagefehler zurückgeht. Die übrigen Garantiekosten bleiben unbeachtet.

Die Zahl der Garantiefälle stellt das Unterprogramm GARANT (vgl. Flußdiagramm Abb. 88) zur Verfügung. Auch die Garantiefälle werden danach unterschieden, ob ein Teil völlig unbrauchbar ist und ausgetauscht werden muß, oder ob eine Reparatur erfolgt.

Folgende Angaben des Entscheidungsträgers sind erforderlich:
- Erwartete Zahl der Garantiefälle in Prozent der abgelieferten Stückzahl (GPROZ)
- Erwarteter Prozentsatz der Ausschußteile unter den Garantiefällen (GAUS)
- Häufigkeitsverteilung der Dauern von Garantiereparaturen (GAREP)

Ein Zufallsprozeß prüft für jedes abgelieferte Teil zunächst,

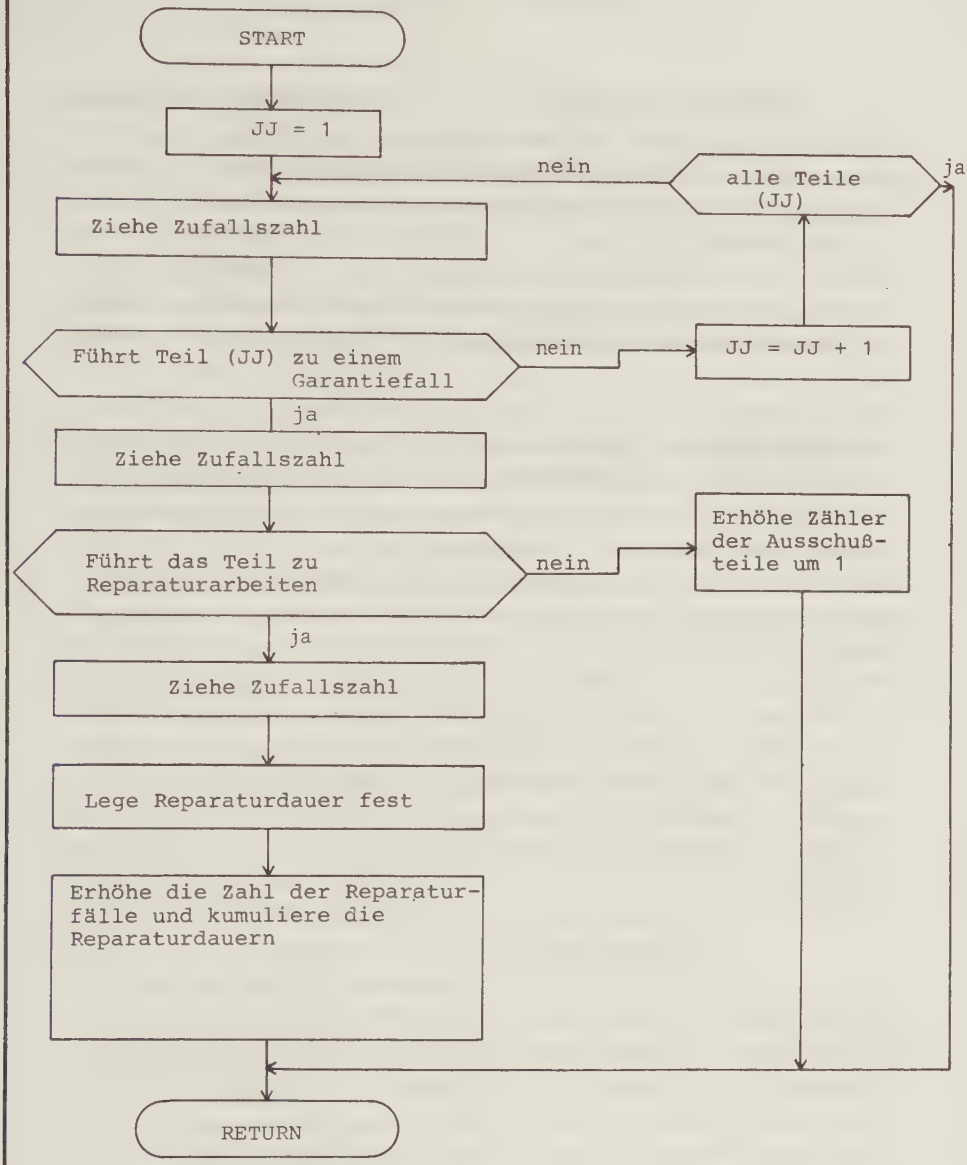


Abb. 88 Unterprogramm GARANT

ob ein Garantiefall eintritt. Wenn ja, entscheidet die nächste gezogene Zufallszahl, ob das Erzeugnis ausgesondert oder repariert wird. Eine weitere Zufallszahl bestimmt mit Hilfe der angegebenen Verteilung (GAREP) die Reparaturdauer.

Die Zahl der Ausschußteile (GESATZ), die Zahl der Reparaturen (IGAZ) und die Dauer der Reparaturen (GAZ) werden kumuliert und stehen dem Bewertungsprogramm zur Verfügung.

Bei vollständigem Ausfall eines Teiles müssen die anfallenden Kosten wie bei der Bewertung von Ausschuß berechnet werden. Es sind auch noch variable Vertriebskosten wie Verpackungs- und Versandkosten für die Lieferung und die Ersatzlieferung zu berücksichtigen. Der zusätzliche (entscheidungsrelevante) Aufwand durch die verwaltungstechnische Abwicklung der Garantiefälle wird mangels geeigneter Informationen vernachlässigt.

$$GAKA = GESATZ \cdot \frac{AUSK}{NFZAEL} + 2 \cdot VERTK$$

GAKA: Kosten durch Austausch von Erzeugnissen

GESATZ: Zahl der auszutauschenden Teile

$\frac{AUSK}{NFZAEL}$: Ausschußkosten pro Teil

2 · VERTK: Durchschnittliche variable Vertriebskosten für 1. Lieferung und Ersatzlieferung

Wenn eine Reparatur des Garantieschadens erforderlich ist, fallen Löhne für Garantiemechaniker und zusätzliche Materialkosten an.

Garantiemechaniker sind meist qualifizierter als das Montagepersonal. Deshalb erhöht sich der Minutenfaktor auch für Garantiearbeiten um 10 %.

$$GAKR = GAZ \cdot AMINF(LOGR) \cdot 1{,}1 \cdot GKS + IGAZ \cdot AMATGK$$

GAKR: Gesamtkosten der Garantiereparaturen
GAZ: Summe der aufgewendeten Reparaturzeiten
1,1: Faktor zur Berücksichtigung der 10 % höheren Lohnkosten
IGAZ: Zahl der Reparaturfälle
AMATGK: Durchschnittliche zusätzliche Materialkosten bei Garantiereparatur.

Immaterielle Verluste durch eine, bei häufigen Garantiefällen mögliche, Verschlechterung des Unternehmensimage bleiben außer Betracht.

Fluktuationskosten

Die Bewertung der Fluktuationskosten ist schwierig, da viele Unsicherheiten in die Berechnungen eingehen. In einer Analyse der Kienbaum Unternehmensberatung [1] wurden für einen Hilfsarbeiter durchschnittlich DM 10.360,-- Fluktuationskosten angegeben. Wie groß die Unsicherheit der Unternehmen bei der Angabe dieser Kosten ist, kommt durch die genannten Extremwerte von DM 1.000,-- und DM 22.500,-- beim Wechsel eines Hilfsarbeiters zum Ausdruck.

Die Fluktuationskosten werden bestimmt durch:
- Kosten der Personalwerbung:
  Zeitungsanzeigen, Anfrage beim Arbeitsamt usw.
- Kosten der Personalauswahl:
  Fahrtkosten der Bewerber, Kostenersatz für Tagesverpflegung, Beantwortung von Anfragen, Kosten der Einladungen etc.

---

1) Zitiert nach einer Veröffentlichung in der Wirtschaftswoche Nr. 27 vom 2.7.1976, S. 40: Was Kündigungen kosten

- Kosten der Einstellung eines neuen Mitarbeiters:
  betriebsärztliche Untersuchung, Ausstellung des Werksausweises usw.
- Kosten der Einarbeitung:
  Minderleistung und Behinderung von Kollegen während der Einarbeitungszeit
- Zahl der Kündigungen.

Die Kosten der Personalwerbung (PERW), der Personalauswahl (PERAU) und der Einstellung eines Mitarbeiters (PEREIN) sind vom Entscheidungsträger als Schätzwerte anzugeben. Die Zahl der Kündigungen (KUE) wird am Beginn des Hauptprogramms ermittelt. Die Minderleistung neuer Arbeitskräfte während der Einarbeitungszeit ist durch eine Ausgleichszahlung bis zur Nähe der Durchschnittsleistung (DULEI) berücksichtigt. Im Unterprogramm BEARB 1 wurden die Zeitanteile (AUSGL) kumuliert, die zur Bestimmung der Ausgleichszahlung heranzuziehen sind. Die Behinderung weiterer Mitarbeiter während des Einlernvorgangs kommt bereits im Unterprogramm TAG durch die Entstehung von Wartezeiten zum Ausdruck und darf hier nicht nochmals bewertet werden.

GKFLUK = KUE ·(PERW+PERAU+PEREIN)+(AUSGL·AMINF(LOGR)·GKS)

GFLUK: Gesamtkosten der Fluktuation
KUE: Zahl der Kündigungen
PERW: Kosten der Personalwerbung (Eingabe)
PERAU: Kosten der Personalauswahl (Eingabe)
PEREIN: Kosten der Einstellung eines Mitarbeiters (Eingabe)
AUSGL: Zeit, die wegen Minderleistung von neuen Mitarbeitern als Ausgleich bezahlt werden muß.

Absentismus

Die Erfassung der Abwesenheitszeiten erfolgt bei geplanten (z.B. Urlaub) und ungeplanten Fehlzeiten gleich.

Zusätzliche Lohnkosten für geplante Fehlzeiten wie Urlaubsgeld o.ä. sind im Gemeinkostensatz enthalten.

Alle Fehlzeiten müssen mit dem normalen Arbeitslohn der Fehlenden bewertet werden, da sowohl bei geplanten als auch bei ungeplanten Abwesenheitsperioden die Lohnzahlung weiterläuft.[1] Wenn Ersatzpersonen eingesetzt worden sind, so ist deren Lohn bereits in die Berechnung der direkten Lohnkosten eingegangen. Kosten für die Beschaffung einer Ersatzperson werden nicht angesetzt, da, zumindest bei der hier angenommenen innerbetrieblichen Umsetzung, kein Betrag zu ermitteln war.

$$ZULO = (NERS + FT) \cdot MIT \cdot AMINF(LOGR) \cdot DULEI \cdot GKS \cdot 0{,}979$$

ZULO: Zusätzliche Lohnkosten für Absentismus
NERS: Zahl der geplanten Fehltage
FT: Zahl der ungeplanten Fehltage
MIT: Zahl der Arbeitsminuten pro TAG (hier 480 Minuten)

Erlöse

Zur Berechnung der Erlöse ist angenommen, daß alle produzierten Teile absetzbar sind und die Grenzerlöse konstant bleiben.

$$ERL_j = IST \cdot ER$$

ERL_j: Gesamterlös der Alternative j
IST: Gesamtausbringung
ER: Erlös pro Stück

---

1) Die zusätzlichen Lohnkosten werden um den Anteil vermindert, der nach langdauernder Krankheit von den Krankenkassen übernommen wird. (Empirisch wurden 2,1% Langkranke festgestellt)

3.2.2.2.9. Investitionsrechnung

Im Unterprogramm INVEST (vgl. Flußdiagramm Abb. 89) erfolgt die Berechnung von Investitionsausgaben und Kapitalbarwert jeder Alternative. Die jährlichen Zahlungsströme stellt das Programm BEWERT zur Verfügung.

Die Berechnungsvorschrift für den Kapitalbarwert (K) lautet:[1)]

$$K = \sum_{t=1}^{n} Q(t) \cdot (1 + i)^{-t} + R(n) \cdot (1 + i)^{-n} - I$$

K: Kapitalbarwert
Q(t): Periodenüberschuß der Periode t
i: Kalkulationszinsfuß
R(n): Restverkaufserlös bei Veräußerung im Jahre n
I: Investitionsaufwendungen im Zeitpunkt 0

Die Berechnung der Periodenüberschüsse beinhaltet hier nicht alle tatsächlich anfallenden Auszahlungsströme (vgl. oben S. 174), so daß die Aussagefähigkeit des Kapitalbarwerts eingeschränkt ist. Er kann nur zum Vergleich verschiedener Alternativen herangezogen werden und sagt nichts über die absolute Vorteilhaftigkeit einer Investition aus.

Weitere für alle Alternativen gleiche Auszahlungsströme vermindern, nach der Abzinsung zum Zeitpunkt 0, den Kapitalbarwert aller Alternativen um den gleichen Betrag. Da die Rang-Höhe der Kapitalbarwerte die Rangfolge der Alternativen bestimmt, ändert die Subtraktion eines konstanten Betrages von allen Kapitalbarwerten diese Rangfolge nicht.

Dies gilt, wenn eine der Alternativen realisiert werden muß und der Kapitalbarwert Entscheidungsgrundlage ist. (Bei der Auswahl nach Rentabilitätsgesichtspunkten müßte die Gesamt-

1) vgl. SCHNEIDER, D. (1970, S. 167)

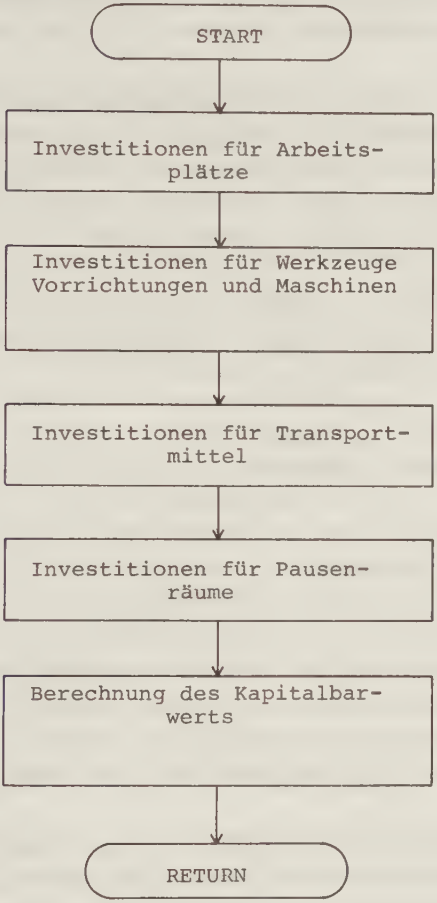


Abb. 89 Unterprogramm INVEST

investition bekannt sein, um die optimale Budgetverzinsung sicherstellen zu können.)

Unter Berücksichtigung eines begrenzten Budgets kann eine Auswahlentscheidung nach Kapitalbarwerten ohne Beachtung des Kapitaleinsatzes zu einem Suboptimum führen.(Z.B.,falls nach Durchführung einer Investition ein Restbetrag nicht mehr in eine rentable Investition eingehen kann.)

Diese Schwäche ist zu vermeiden, wenn statt der Kapitalbarwertbetrachtung eine Rentabilitätsberechnung erfolgt. Die Rentabilität (R) ergibt sich als:

$$R = \frac{\text{Gewinn}}{\text{Umsatz}} \times \frac{\text{Umsatz}}{\text{Kapital}}$$

Die Berücksichtigung des Kapitaleinsatzes vermeidet die Gefahr eines Suboptimums.

Da jedoch der Informationsbedarf,besonders bei Ermittlung von Gewinn und Umsatz,sehr hoch ist, sollen die folgenden Überlegungen auf die Kapitalbarwertberechnung beschränkt bleiben. Vor allem auch deshalb, weil im hier betrachteten Zweigwerk die benötigten Daten nicht vorliegen.

Die Angabe von Gewinn- oder Umsatzzahlen setzt die Kenntnis tatsächlicher Erlöse voraus. Diese sind jedoch in einem Zweigbetrieb nicht bekannt. Die Beurteilung der Investitionsvorhaben soll deshalb, der Datensituation angepaßt, mit Hilfe der Kapitalbarwerte erfolgen.

Eine Berücksichtigung von Ertragssteuern im Rahmen der Investitionsüberlegungen erscheint nicht erforderlich.

In einem Großbetrieb kann angenommen werden, daß durch Realisierung eines der möglichen Investitionsvorhaben die Gewinnänderung keine Wirkung auf die Steuerprogression hat. Da außerdem für alle Alternativen gleiche Lebensdauer, also auch Abschreibungsdauer gilt, bewirkt die Absetzbarkeit der Auszahlungsströme und Abschreibungen vom Periodenüberschuß in allen Fällen eine prozentual gleiche Belastungsminderung. Nach Abzinsung auf die Gegenwart ändern sich alle Kapitalbarwerte ebenfalls um den gleichen Prozentsatz, sodaß die Rangfolge der Alternativen gleich bleibt.

Die Berücksichtigung weiterer Steuerarten, wie z.B. Gewerbesteuer, könnte, wegen der Bindung an das Betriebskapital eine Rangfolgeänderung bewirken. Eine Variation der Rechenvorschriften ist hier jedoch nicht sinnvoll, da der Einfluß stark vom Einzelfall abhängt und nicht allgemeingültig zu behandeln ist.

Das gleiche gilt für eine mögliche Verminderung der Investitionsbeträge durch Fördermittel des Bundes. Derartige Maßnahmen können, in meist engen zeitlichen Grenzen, eine erhebliche Einsparung von Investitionsmitteln bedeuten.

Auch kurzfristige staatliche Maßnahmen, wie Investitionszulagen, Investitionssteuern, Prämien für die Schaffung von Arbeitsplätzen o.ä. lenken Investitionsentscheidungen. Die allgemeingültige Beachtung derartiger Einflußgrößen ist nicht möglich, muß jedoch im konkreten Einzelfall in die Berechnungen eingehen.

Ermittlung der Investitionsausgaben für:

- Arbeitsplätze

$$AI = (TI + ST + VESP) \cdot N \cdot IPFR$$

AI: Gesamtinvestition für Arbeitsplätze
TI: Investition pro Arbeitstisch
ST: Investition pro Arbeitsstuhl
VESP: Investition pro Vesperkasten
N: Zahl der Stationen
IPFR: Zahl der Paralleleinrichtungen

- Werkzeuge, Vorrichtungen, Maschinen

$$WZG = WZG_e \cdot IPFR$$

WZG: Gesamtinvestition für Werkzeuge, Vorrichtungen und Maschinen
WZG_e: Investition für eine komplette Ausstattung an Werkzeugen, Vorrichtungen und Maschinen

- Transportmittel

$$TRANS = (GL \cdot TRP + ANTR \cdot ZAL) \cdot IPFR$$

TRANS: Gesamtinvestition für Transportmittel
GL: Gesamtlänge des Transportmittels
TRP: Investition pro Meter Transportmittel
ANTR: Investition pro Antriebseinheit
ZAL: Zahl der Antriebseinheiten

- Pausenraum
  (Für jeweils 4 Personen wird ein Tisch angeschafft.)

$$PAU = (N \cdot PST + NTI \cdot PTI) \cdot IPFR$$

PAU: Gesamtinvestition für Pausenräume
PST: Investition pro Stuhl
NTI: Zahl der Tische
PTI: Investition pro Tisch

Als Gesamtinvestition (GINV) ergibt sich

$$GINV = AI + WZG + TRANS + PAU$$

Die Kapitalbarwertberechnung erfolgt mit Hilfe der oben angegebenen Formel durch Abzinsung der Periodenüberschüsse (ERL(J) - GKAP(J)) mit dem angegebenen Zinsfuß (ZKAL) für die Lebensdauer (LD). Ein angegebener Restverkaufserlös (R) am Ende der Nutzungszeit wird berücksichtigt.

3.2.2.2.10. Ergebnisausgabe

Das Unterprogramm DRUCK (vgl. Flußdiagramm Abb. 90) stellt die Rangfolge der Alternativen, aufgrund der berechneten Kapitalbarwerte, auf. In der ermittelten Reihenfolge werden Kapitalbarwert, Alternativennummer, Stationenzahl, Personenzahl, Zahl der Paralleleinrichtungen und Gesamtinvestition je Alternative ausgedruckt. Ein Beispiel eines Ergebnisausdrucks ist in Abb. 91 dargestellt.

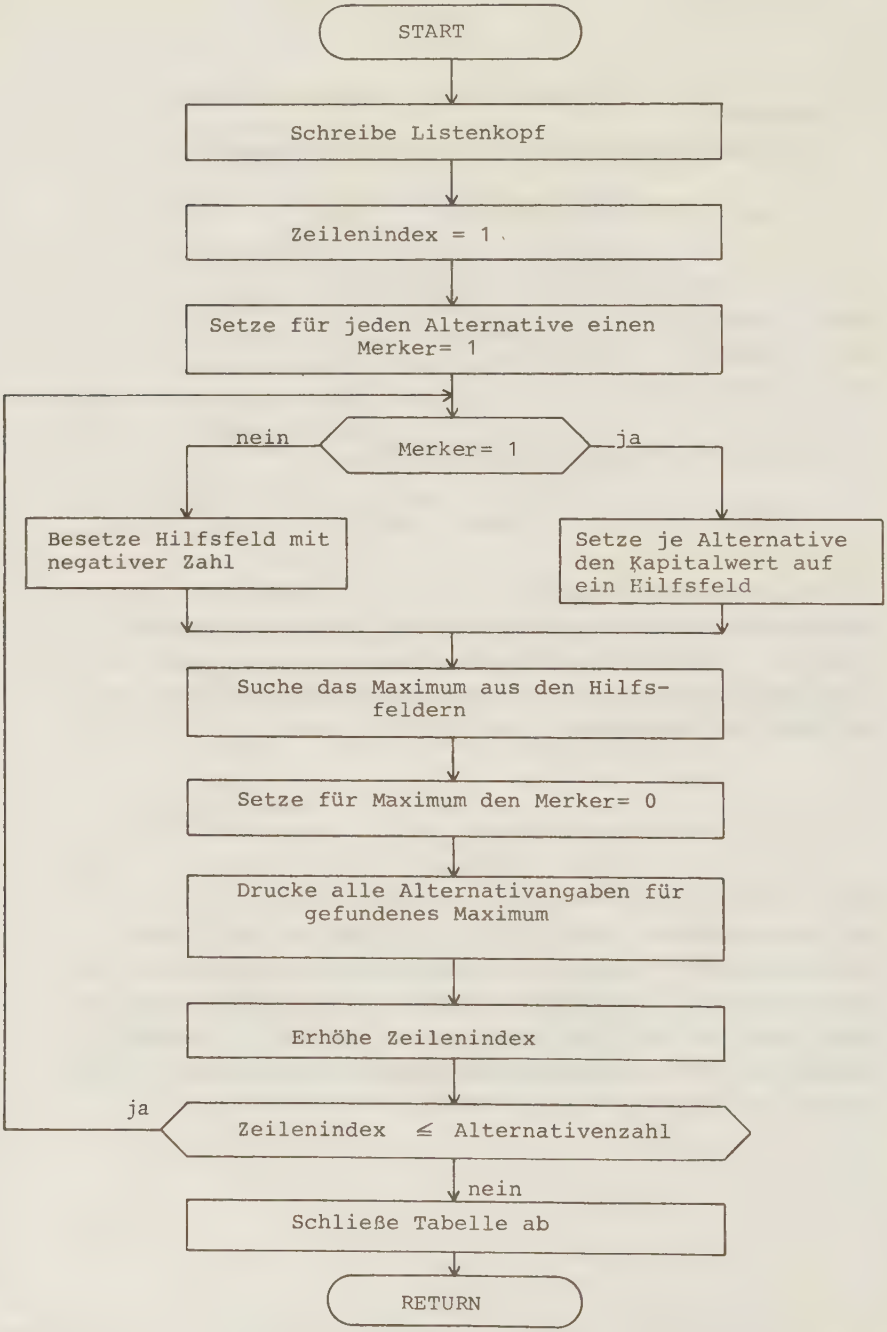


Abb. 90 Unterprogramm DRUCK

AUSWERTUNG

RANG	KAPITALBARWERT	ALTERNATIVE	STATIONEN	PERSONEN	PARALLELEINRICHTUNGEN	GESAMTINVESTITION
1	365771.18	2	2	2	5	50150.00
2	351295.88	1	5	5	2	30500.00
3	251290.79	4	5	5	1	36250.00
4	168446.32	3	10	10	1	40650.00

Abb. 91
Ergebnisausdruck eines
Simulationslaufs

4. Praktische Anwendung der Bewertungsverfahren

Bereits im Verlauf der Programmbeschreibungen wurde immer wieder auf den praktischen Hintergrund hingewiesen, der die Entwicklung der Bewertungsverfahren bestimmte. Reale Situationen sollen im folgenden auch zeigen, welche Möglichkeiten und Probleme bei der Beschaffung der erforderlichen Daten bestanden. Außerdem werden einige praktische Entscheidungssituationen beschrieben und die Ergebnisse von Alternativenerzeugung und quantiativer bzw. qualitativer Bewertung dargestellt.

Ausgangspunkt der folgenden Überlegungen ist die Erfahrung, die bei der Planung von Montageeinrichtungen in der Fertigungsvorbereitung des betrachteten Unternehmens, beim bisherigen Ablauf der Planungsüberlegungen und bei ersten Vorstellungen des hier behandelten Modells gemacht wurden.

An einem konkreten Fall wurde nach Festlegung der technisch realisierbaren Alternativen in Zusammenarbeit mit Planungsingenieuren eine Entscheidungsanslyse durchgeführt.

Aufgabenstellung war die Planung eines Montagebandes für ein elektrotechnisches Kleingerät. Die geplante Jahresstüchzahl lag bei ca. 500.000, der Arbeitsinhalt bei ca. 3 Min. pro Stück.

Für Ein-Schicht-Betrieb und gegebene Raumgrenzen erwiesen sich 5 Anordnungsprinzipien als geeignet:

- Einzelarbeitsplätze
- Umlaufanordnung
- intermittierendes Transferprinzip
- Schoßband
- Skelettband.

Die Bewertung wurde in einer Gruppe von Fertigungsplanern nach den Grundsätzen der Nutzwertanalyse durchgeführt. Den höchsten Punktwert erreichte das intermittierende Transferprinzip.

Auf der Basis dieses Bewertungsergebnisses wurde die Feinplanung (konkrete Verteilung aller Arbeitsgänge und Ausgestaltung der Arbeitsplätze) durchgeführt. Deren Ergebnis lag der Unternehmensleitung zusammen mit Vergleichswerten für die von Anfang an präferierte Schoßbandalternative zur Entscheidung vor. Wegen ca. 15% höherer Investitionen und der vom Einheitstyp abweichenden Anordnungsform wurde die vorgeschlagene Alternative abgelehnt und ein Schoßband realisiert.

4.1. Daten

Die Vergangenheitsdaten sollten Informationen liefern, die zum Aufbau der Bewertungssysteme erforderlich waren (z.B. Verteilung der Stördauern, Nacharbeitszeiten o.ä.). Außerdem wurden Anhaltspunkte gesucht, die den Entscheidungsträger bei der subjektiven Bewertung einzelner Merkmale des Zielsystems oder bei der Angabe der variablen Größen des Simulationsmodells unterstützen können.

4.1.1. Daten zur Alternativenermittlung

Die Angabe der Daten zur Alternativenermittlung erwies sich als relativ unproblematisch. Bei jeder Planung einer Montage-

einrichtung steht die geplante Mechanisierung und damit ein wesentlicher Teil der Einflußgrößen, die die Vorgabezeit determinieren, fest. Es ist für die Kalkulatoren dann gut möglich, den Zeitbedarf der Arbeitsgänge mit Hilfe der MTM-Vorschriften anzugeben.

Auch die Angabe der geplanten Arbeitszeit (Schichtenzahl) macht meist keine Schwierigkeiten, da die neue Montageeinrichtung in den Rahmen des Gesamtunternehmens eingebettet sein muß und eine Abweichung von der sonst üblichen Arbeitszeitregelung nicht erwünscht ist.

Bei einer Neuplanung oder wenn sonst die Arbeitszeitregelung unabhängig von bestehenden Verhältnissen möglich ist, kann das Programm zur Alternativenerzeugung mit verschiedenen Werten der verfügbaren Arbeitszeit (TBEARB) durchlaufen werden. Solange die Stückzahlvorgaben und die produktspezifischen Daten für alle Programmläufe gleich bleiben, sind auch die erzeugten Alternativen vergleichbar und können in den Bewertungsprogrammen einander gegenübergestellt werden.

Die Stückzahlvorgaben sind für die Fertigungsplanung weitgehend als Datum anzusehen und deshalb, obwohl grundsätzlich schwer prognostizierbar, ebenfalls leicht anzugeben.

Gerade in der Fertigungsvorbereitung ist auch das Produkt selbst, also Teilezahl, Größe und Beschaffenheit der Einzelteile usw. bekannt, so daß auch diese Angaben immer verfügbar sind.

4.1.2. Daten zur qualitativen Bewertung

Wichtigste Voraussetzung zur Durchführung der qualitativen Bewertung ist die Aufstellung und Gewichtung des Zielsystems. Das in Abb. 35 vorgestellte Zielsystem wurde als Grobentwurf

mit einer Gruppe von Planungsingenieuren besprochen, in die endgültige Form gebracht und gewichtet. Dabei zeigte sich, daß bei der Auswahl der Zielkriterien und deren Gruppierung sehr schnell eine Einigung erreicht war. Meinungsverschiedenheiten traten vor allem bei der Gewichtung der Kriterien auf. Es empfiehlt sich also, für die praktische Anwendung der Nutzwertanalyse, bei der Gewichtung der Zielkriterien ein unterstützendes Verfahren, wie z. B. die Methode der sukzessiven Vergleiche, heranzuziehen (vgl. oben S.132).

Die Angabe von drei Scores und drei Wahrscheinlichkeiten je Zielkriterium und Alternative war in der Planungsgruppe gut möglich, da individuell verschiedene Einschätzungen zum Ausdruck gebracht werden konnten. Als gute Entscheidungshilfe erwiesen sich die in Tabellen zusammengefaßten verbalen oder quantitativen Beschreibungen der Zielerträge (vgl. Tab. 8 - 13).

4.1.3. Daten zur quantitativen Bewertung

Um zu einer realistischen Abbildung der zahlreichen Einflußgrößen der quantitativen Bewertung zu kommen, mußte neben der Angabe aktueller Werte eine Reihe von empirischen Daten erhoben werden.

4.1.3.1. Alternativenunabhängige Daten

Die Ermittlung des aktuellen Investitionsbetrages, der Lebensdauer, des Kalkulationszinsfußes und des Restverkaufserlöses unterscheidet sich nicht vom üblichen Vorgehen bei Investitionsüberlegungen. Zusätzlich mußten jedoch einige Häufigkeitsverteilungen angegeben werden, deren Ermittlung sehr aufwendig war.

Verteilung der Urlaubsdauern (UR)

Für alle Organisationsformen wird die gleiche Verteilung angenommen, da Urlaubsgewohnheiten von äußeren Faktoren determiniert werden und von der Montageorganisation unabhängig sind.

Die Verteilung der Urlaubsdauern wurde aus den Aufzeichnungen für Montagewerkstätten der Jahre 1973 bis 1975 ermittelt. Die relative Häufigkeitsverteilung ist in Abb. 92 und Tab. 23 dargestellt.

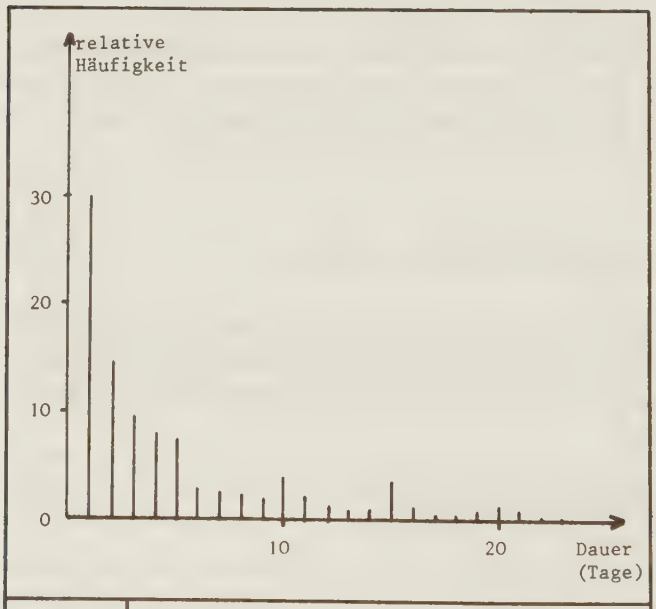


Abb. 92	Relative Häufigkeitsverteilung der Urlaubsdauern

Dauer (Tage)	relative Häufigkeit
1	30,0
2	14,4
3	9,5
4	8,1
5	7,8
6	3,0
7	2,8
8	2,4
9	2,2
10	4,0
11	2,2
12	1,5
13	1,0
14	1,2
15	3,7
16	1,4
17	0,7
18	0,5
19	0,7
20	1,3
21	1,2
22	0,2
23	0,2

Tab. 23 Relative Häufigkeit der Urlaubsdauern

Verteilung der Krankheitsdauern (D)

Auch die Verteilung der Krankheitsdauern in den Montageabteilungen während der Jahre 1973 bis 1975 wurde ermittelt. Eine Variation dieser Häufigkeitsverteilung für verschiedene Organisationsformen ist nicht vorgesehen. Auswirkungen auf die Abwesenheitszeiten werden allein durch die Variation des Prozentsatzes der Abwesenheitszeiten bestimmt (vgl. Tab. 24 und Abb. 93).

Dauer (Tage)	relative Häufigkeit
1	16,09
2	9,58
3	7,66
4	8,24
5	10,15
6	3,83
7	3,45
8	4,60
9	3,64
10	7,28
11	3,64
12	1,92
13	1,15
14	1,53
15	2,49
16	2,11
17	1,72
18	1,53
19	0,57
20	3,45
21	1,15
22	2,30
23	1,92

Tab. 24 Relative Häufigkeitsverteilung der Krankheitsdauern

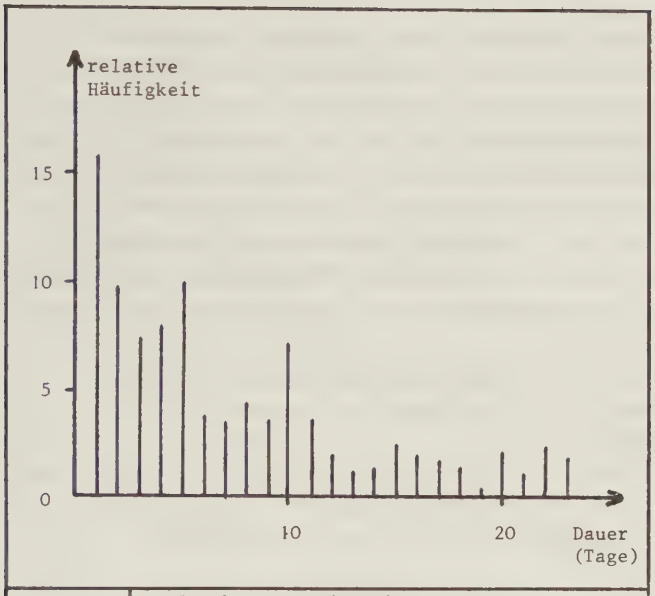


Abb. 93	Relative Häufigkeitsverteilung der Krankheitsdauern

Verteilung der Zeitdauer, bis bei Personalausfall eine Ersatzperson verfügbar ist (ERS)

Diese Verteilung basiert auf Erfahrungen der Fertigungsmeister und ist nicht durch nachprüfbare Unterlagen fundiert. Deshalb werden nur drei (relativ ungenaue) Werte angegeben (vgl. Tab. 25).

Verschiebungszeit (Std.)	Häufigkeit
0	33,33
0,5	33,34
1,0	33,33

Tab. 25	Verteilung der Zeitdauer bis eine Ersatzperson verfügbar ist

Verteilung der Stördauern

In der Literatur nimmt man im allgemeinen eine negative Exponentialverteilung der Stördauern an. Die empirische Untersuchung der Stördauern an Montageeinrichtungen bestätigte diese Annahme. Wegen der relativ ungenauen Aufzeichnungen, besonders im Bereich bis 60 Minuten, mußten die Häufigkeiten für 30-Minutenintervalle angegeben werden (vgl. Tab. 26 und Abb. 94). Die damit verbundene Ungenauigkeit erfordert die weitere Unterteilung (Minutenintervalle) dieser Intervalle zur Berechnung der tatsächlichen Stördauern (vgl. oben S. 216).

Stördauer (Minuten)	relative Häufigkeit
bis 30	35,63
31 - 60	33,02
61 - 90	15,35
91 - 120	8,74
121 - 150	3,81
151 - 180	2,51
181 - 210	0,37
211 - 240	0,28
241 - 270	0,09
271 - 300	0,09
301 - 330	-
331 - 360	0,09

Tab. 26 Relative Häufigkeitsverteilung der Stördauern

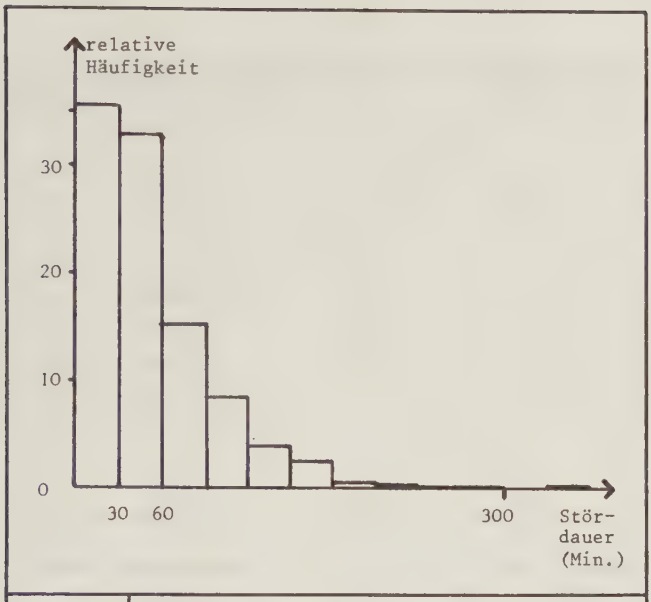


Abb. 94 Relative Häufigkeitsverteilung der Stördauern

Verteilung der Störzeitpunkte (SZV)

An den vorhandenen Montageeinrichtungen konnten die Abstände der Störungen voneinander nur in Tagesintervallen ermittelt werden. Die Annahme von 480 Minutenintervallen erschien jedoch so grob, daß zwar die Häufigkeitsverteilung (vgl. Tab. 27 und Abb. 95) anhand dieser Daten bestimmt wurde, aber im Unterprogramm STOEZ (vgl. oben S.216) 300-Minutenintervalle angesetzt sind. Diese Annahme erscheint plausibel, da mehrere Störungen weniger als einen Tag auseinanderliegen können. Bei anderen Verhältnissen kann die Annahme des 300-Minutenintervalls durch die Änderung eines Faktors im Unterprogramm STOEZ zugunsten jeder anderen Größe erfolgen. Das Programm bewältigt bis zu 50 Intervalle.

Tage	relative Häufigkeit
1	62,71
2	12,21
3	6,86
4	6,52
5	3,18
6	1,84
7	1,34
8	0,67
9	1,17
10	0,50
11	0,50
12	0,33
13	0,33
14	0,50
15	0,50
16	0,17
17	0,17
18	0,17
19	-
20	-
21	-
22	0,17
23	-
24	-
25	-
26	0,17

Tab. 27 Relative Häufigkeitsverteilung der Abstände aufeinanderfolgender Störungen

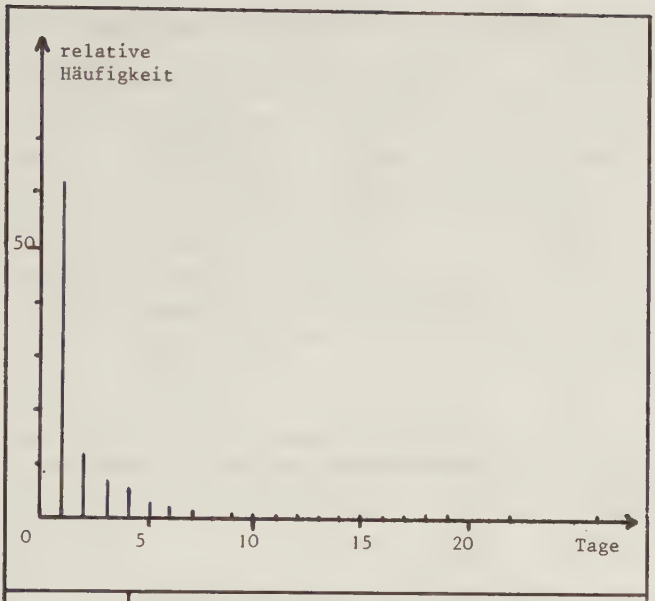


Abb. 95	Relative Häufigkeitsverteilung der Abstände aufeinanderfolgender Stör.

Verteilung der Nacharbeitsdauern (ANACH)

In die Bestimmung der Verteilung der Nacharbeitsdauern (vgl. Tab. 28 und Abb. 96) darf nur Nacharbeit als Folge von Montagefehlern eingehen. Hinreichend genaue Aufzeichnungen zur Bestimmung dieser Nacharbeitsdauern waren jedoch nicht vorhanden. Zur Angabe der gewünschten Verteilung wurden deshalb Kalkulatoren und Fertigungsplaner befragt. Das Ergebnis dieser Befragung stellt die folgende Verteilung dar:

Nacharbeitsdauer (pro Stück) (Minuten)	relative Häufigkeit
3	60,00
6	15,00
9	10,00
12	5,00
15	2,00
18	2,00
21	2,00
24	2,00
27	1,00
30	1,00

Tab. 28 Relative Häufigkeitsverteilung der Nacharbeitsdauern

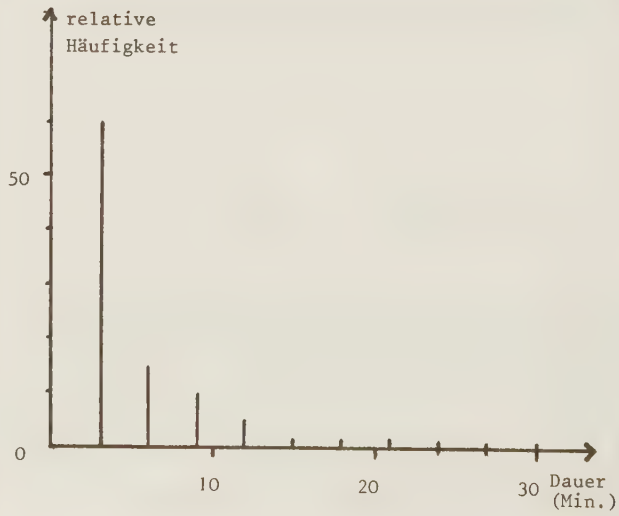


Abb. 96 Relative Häufigkeitsverteilung der Nacharbeitsdauern

Verteilung der Reparaturdauern bei Garantiefällen

Die gleiche Problematik trat bei Bestimmung der Dauern von Garantiereparaturen auf. Auch hier mußte versucht werden, die Häufigkeitsverteilung aufgrund von Erfahrungen der Garantiemechaniker und Kalkulatoren zu schätzen (vgl. Tab. 29 und Abb. 97).

Dauer (Minuten)	relative Häufigkeit
3	50,00
6	20,00
9	15,00
12	5,00
15	2,00
18	2,00
21	2,00
24	2,00
27	1,00
30	1,00

Tab. 29 Relative Häufigkeitsverteilung der Dauer von Garantiereparaturen

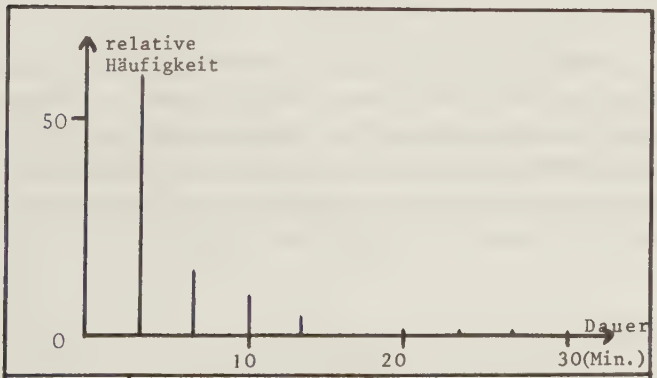


Abb. 97 Relative Häufigkeitsverteilung der Dauer von Garantiereparaturen

Die Ermittlung der weiteren Daten, wie Erlöse, Materialkosten, Energiekosten usw. bringt keine prinzipiellen Schwierigkeiten mit sich. Unsicherheiten bestehen nur noch bei der Angabe eines durchschnittlichen zusätzlichen Materialaufwands bei Nacharbeit und Garantiereparaturen und bei Angabe der durchschnittlichen Vertriebskosten pro Stück. Diese Kostengrößen sind jedoch von erfahrenen Fertigungsplanern durchaus zuverlässig zu schätzen. Kleinere Ungenauigkeiten spielen wegen der insgesamt geringen Größenordnung dieser Werte keine Rolle.

4.1.3.2. Alternativenspezifische Daten

Der Hauptteil der alternativenspezifischen Daten wie Station- und Personenzahl je Gruppe, Zahl der Paralleleinrichtungen, Anordnungsprinzip, Gesamtfläche und Gesamtlänge entspricht den Ergebnissen des Programms zur Alternativenauswahl.

Der Entscheidungsträger kann eine Reihe weiterer Daten, wie Taktverluste, Grundfläche des Werkstücks, Länge und Breite der Puffer, persönliche Verteilzeit, erwartete Durchschnittsleistung, Minutenfaktor und Monatslohn eines Vorarbeiters oder einer Hilfskraft, sofort angeben.

Größere Schwierigkeiten bereiten die Kosten für Anwerbung, Auswahl und Einstellung eines neuen Mitarbeiters. Bei einer systematischen Zusammenstellung der bei Beschreibung des Unterprogramms BEWERT (vgl. S. 250) angegebenen Kostenarten, kann man jedoch erwarten, daß ein zuverlässiger Schätzwert gefunden wird.

Die Festlegung der Zahl der Vorarbeiter, der Hilfskräfte und der Personenzahl je Meister, erfolgt in Abhängigkeit von Anordnungsform und Dispositionsspielraum der Mitarbeiter aufgrund der individuellen Präferenzen des Entscheidungsträgers. Diese Werte sind nur in Kenntnis des Einzelfalls zu bestimmen. Anhaltspunkte können die bisher angetroffenen Verhältnisse sein. Je nach Mechanisierungsgrad der Einrichtungen betreut heute ein Vorarbeiter 4 - 10 Personen. Für ca. 20 Personen ist ein Werkstatthelfer vorhanden. Ein Meister betreut ca. 40 Mitarbeiter.

Die höchsten Anforderungen werden an den Entscheidungsträger bei Angabe des Prozentsatzes der Montagefehler, der Fluktuations- und der Abwesenheitsrate gestellt. Deshalb soll versucht werden, durch Darstellung der in der Vergangenheit in unterschiedlichen Montageabteilungen ermittelten Verhältnisse, Entscheidungshilfen anzubieten.

Montagefehler

In Abteilungen mit Fließmontage wurden, unabhängig von Unterschieden der Puffergröße oder der Art des Teiletransports, bei der Erzeugnisschlußprüfung ca. 10,5 % Montagefehler ermittelt.

Davon war in ca. 70 % aller Fälle Nacharbeit möglich.

Bei der Angabe der Zahl der Garantiefälle aufgrund von Montagefehlern ist man auf Schätzungen angewiesen, da exakte Aufschreibungen je Fehlerart nicht existieren. Für die bisher realisierte Fertigungsorganisation werden 3 % als realistisch angenommen.

Davon ist in ca. 60 % aller Fälle eine Reparatur möglich.

Fluktuationsrate

Bei Angabe der Fluktuationsrate ist es besonders schwierig, konjunkturelle und sonstige, nicht organisationsabhängige Einflußgrößen zu isolieren.

Für die Jahre 1971 bis 1974 wurde die Entwicklung der Fluktuation in einigen Montageabteilungen untersucht. (Das Jahr 1975 wurde nicht betrachtet, da der Konjunktureinbruch zu Entlassungen und Kurzarbeit führte und freiwillige Betriebswechsel, zum Teil durch Abfindungsprämien gefördert, nicht aussagefähig sind.) Die Ergebnisse sind in Abb. 98 zusammengestellt. Die Kurven 1, 2, 3 und 4 stellen die Fluktuationsraten von Montageabteilungen dar, in denen Fließbänder eingerichtet sind. In den durch 5 und 6 repräsentierten Werkstätten handelt es sich um Vormontageabteilungen, die mit voneinander unabhängigen Einzelplätzen ausgestattet sind.

Es zeigt sich also daß, besonders in der Hochkonjunkturphase des Jahres 1973, je nach Organisationsform unterschiedliche Fluktuationsraten auftraten.

Die nahezu gleich niedrige Fluktuation des Jahres 1974 ist vermutlich bereits auf die sich verschlechternde Situation am Arbeitsmarkt zurückzuführen.

Abwesenheitsrate

Wie die Fluktuationsrate wird auch die Abwesenheitsrate von vielen nicht beeinflußbaren Faktoren und der Organisationsform determiniert.

Es kann angenommen werden, daß auch hier die Zahl der Jahre 1973/74 am aussagefähigsten sind, da sich gerade in guten Konjunktursituationen Unzufriedenheit mit den Arbeitsbedingungen auf die Abwesenheitszahlen auswirkt.

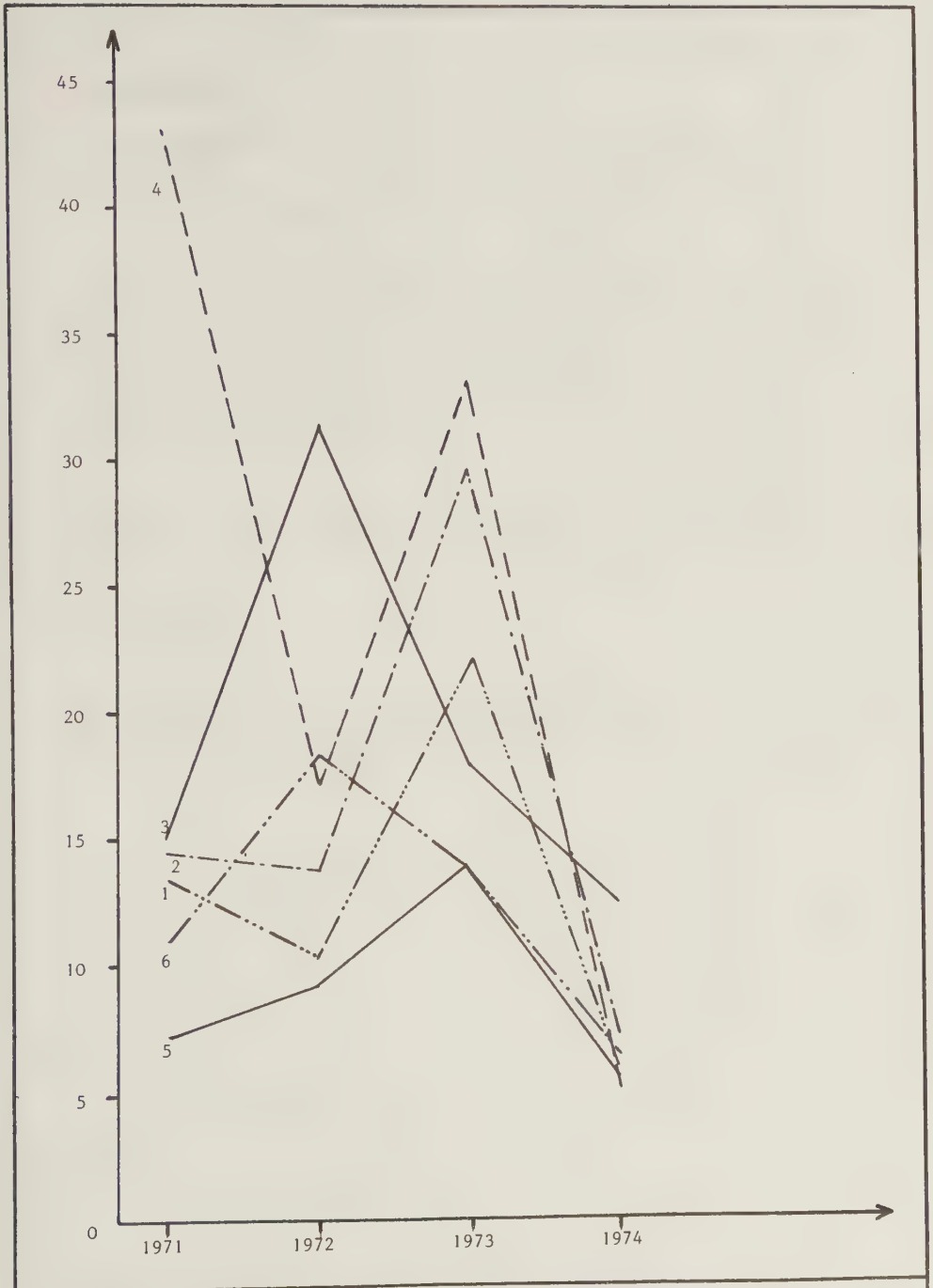


Abb. 98 Gesamtfluktuation in verschiedenen Montageabteilungen

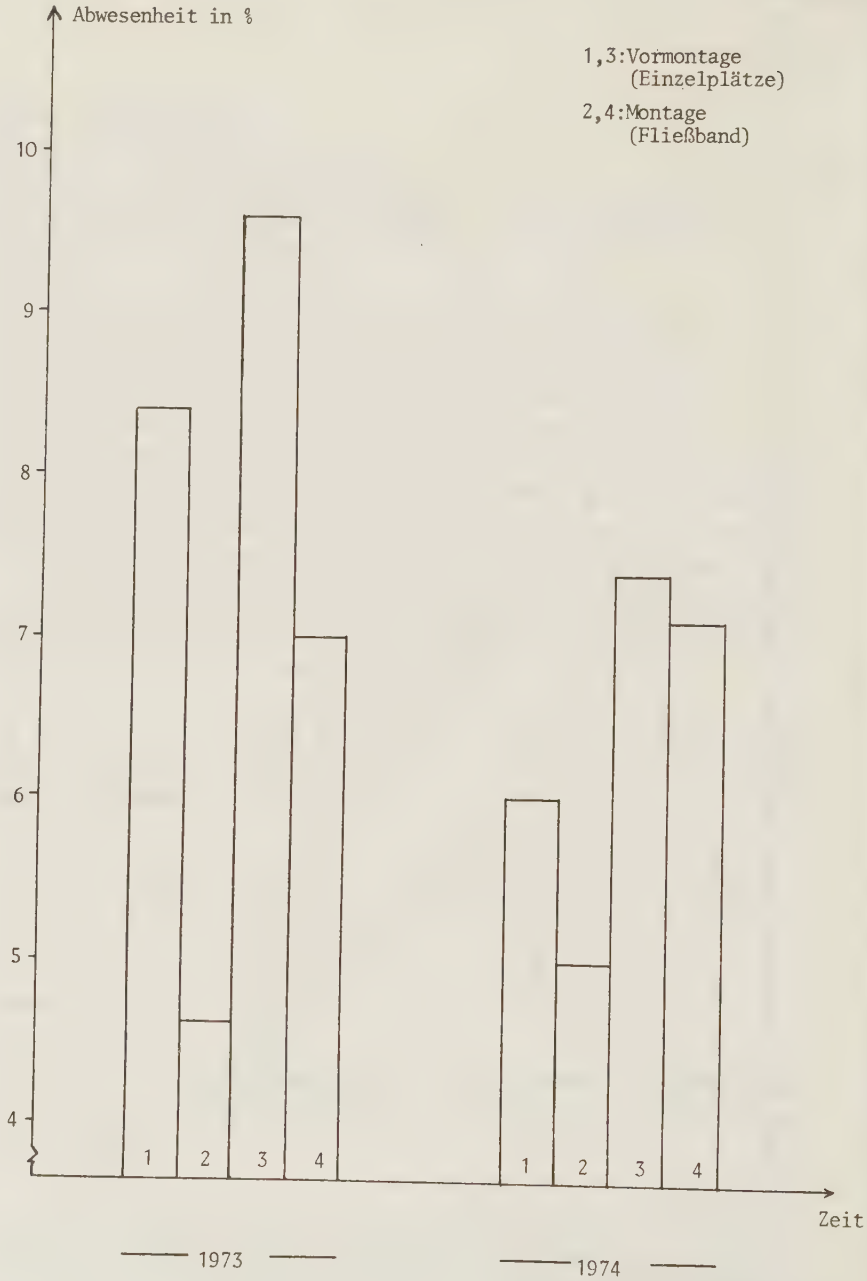


Abb. 99 | Abwesenheit in ausgewählten Montageabteilungen

Die Untersuchungsergebnisse aus verschiedenen Abteilungen mit Fließmontage und Montage an Einzelplätzen (Vormontage) sind in Abb. 99 dargestellt.

Es zeigt sich, daß, entgegen den Erwartungen, in Abteilungen mit Komplettmontage der Krankenstand höher liegt als an Fließbändern. Das könnte darauf zurückzuführen sein, daß das Bewußtsein der gegenseitigen Abhängigkeit an Fließbändern zu einer größeren "Arbeitstreue" führt als die Unabhängigkeit an Einzelarbeitsplätzen.

Bei der Variation der Abwesenheitsprozentsätze ist also eine sehr vorsichtige Abschätzung des Einzelfalls erforderlich.

4.2. Beispiele

Im folgenden werden die Ergebnisse je eines praktischen Beispiels zur Alternativenerzeugung, qualitativen und quantitativen Bewertung wiedergegeben.

4.2.1. Alternativenerzeugung

KONTROLLAUSDRUCK DER EINGABEDATEN

```
VERFUEGBARE MONTAGEZEIT:     10434.0(MIN.)
STUECKZAHL:                  10000
SUMME ALLER
BEARBEITUNGSZEITEN:          1035.0(MIN. PRO 100 STUCK)

KOMPLETTMONTAGE IST ZUGELASSEN.(KM=T)

STRUKTURIERTE ARBEITSSYSTEME SIND ZUGELASSEN.(ZMIF=T)

LINIENMONTAGE IST ZUGELASSEN. (LM=T)

FLAECHENBERECHNUNG ERFOLGT. (FL=T)

GRAPHISCHE DARSTELLUNG ERFOLGT. (DR=T)


AM KM ARBEITSPLATZ WERDEN FOLGENDE BEHAELTER BENOETIGT:

BEHAELTER TYP 1:  2. STUECK
BEHAELTER TYP 2: 17. STUECK
BEHAELTER TYP 3: 20. STUECK
BEHAELTER TYP 4:  2. STUECK
MAXIMALE GREIFHOEHE : 25.(CM)
ZAHL DER EINZELTEILE: 36. STUECK


FUER LINIENMONTAGEN GELTEN FOLGENDE ANNAHMEN:

NORMALER TAKTVERLUST: 4.00%
MAX. ZULAESSIGER TAKTVERLUST:10.00%

ANORDNUNG ALS SKELETTBAND



FLAECHENBEDARFSBERECHNUNG

BEI ANGABE VON T ERFOLGT DIE FLAECHENBERECHNUNG MIT EXTERNEN
EINGABEDATEN( SIEHE WEITERE ANGABEN). BEI ANGABE VON F
WERDEN STANDARDWERTE GESETZT.
KOMPLETTMONTAGE        :  F
UMLAUFSYSTEM           :  F
PART. UMLAUF           :  F
SEQUENT. PRINZIP       :  F
BLOCKANORDNUNG         :  F
GLEITENDE ABTAKTUNG    :  F
RAUMSPARLOESUNG        :  F
MECH. TRANSFER MATAND  :  F
MECH. TRANSFER GERAD.  :  F
LINIENMONTAGE          :  F
STRUKT. SYSTEM ALLG.   :  T


VORHANDENE GRUNDFLAECHE: 9000.00
ZUL. GESAMTFLAECHE :  500.00

STEUERUNG DES ALGORITHMS.
BEI ANGABE T ERFOLGT DER DRUCK DER ALTERNATIVEN.
BEI ANGABE F ERFOLGT KEIN DRUCK.
DRUCK DER KOMPLETTMONTAGE-ALTERNATIVEN:  T
DRUCK DER STRUKTURIERTEN ARBEITSSYSTEME:  T
DRUCK DER LINIENMONTAGEALTERNATIVEN:  T
```

KOMPLETTMONTAGE

UM DIE VORGEGEBENE STUECKZAHL ZU ERREICHEN,
SIND 13 KOMPLETTMONTAGEPLAETZE ERFORDERLICH.

```
              +++++++++++++++++++
              +                 +
              +                 +
              +                 +
              +                 +
              +                 +
              +                 +
              +++++++++++++++++++
        KKKKKKKKK             KKKKKKKKK
        K       K  0   00   0
        K       K  0  0  0  0  K       K
        K       K  0  0  0  0  K       K
        K       K  0   00   0  K       K
        KKKKKKKKK  000000000   KKKKKKKKK
```

DIE KOMPLETTMONTAGEPLAETZE KOENNEN BELIEBIG
ANGEORDNET WERDEN.

FLAECHENBEDARF: 91.52 (QUADRATMETER)

GESAMTLAENGE: 20.80 (METER)
ANORDNUNG DER PLAETZE HINTEREINANDER

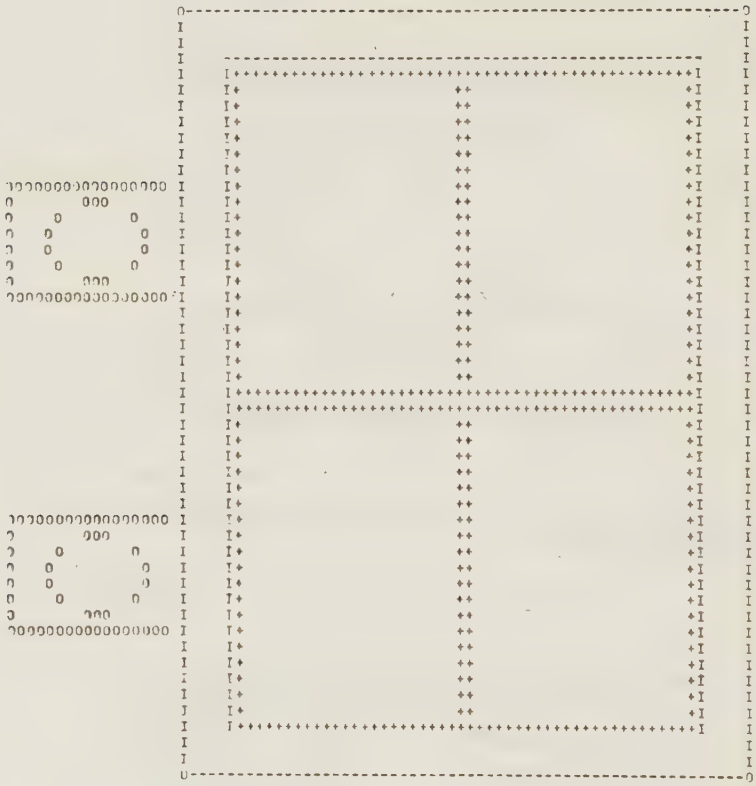
MIN. RAUMBREITE: 1.40 METER)

FL. FUER ANLIEF.: 2.40

FL. FUER ABLIEF.: 2.40

UMLAUFANORDNUNG

DIE FOLGENDE ANORDNUNG IST 11 MAL ERFORDERLICH



UM DIE VORGEGEBENE STUECKZAHL ZU ERREICHEN,
MUSS DAS UMLAUFSYSTEM MIT EINER PERSON BESETZT SEIN.

FLAECHENBEDARF: 265.43 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN DER PARALLELEINRICHTUNG

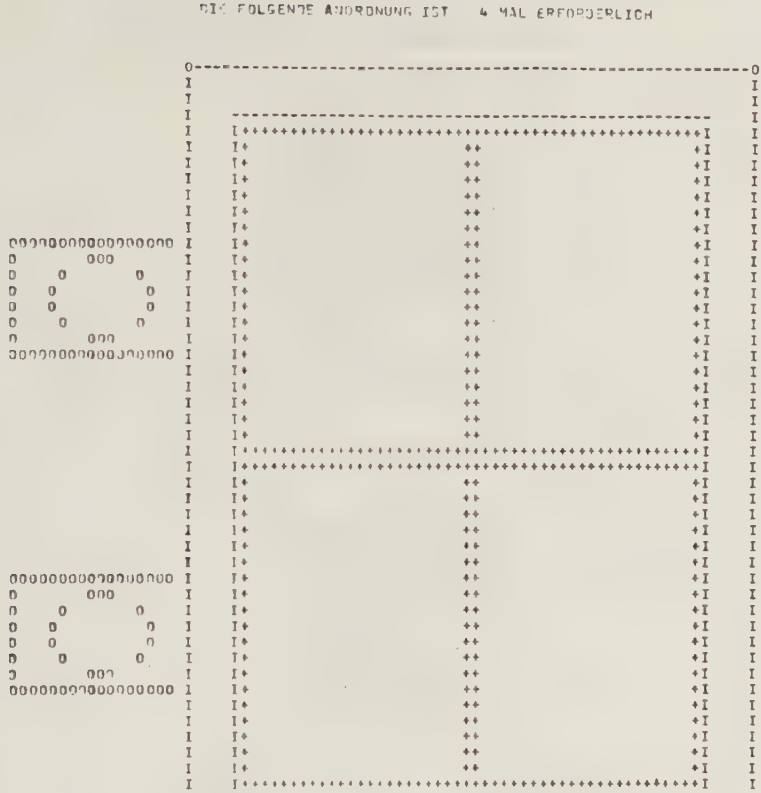
GESAMTLAENG : 4.10 (METER)

MIN. RAUMBREITE : 3.30 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 5.[illegible]

FL. FUER ABLIEF.: 4.[illegible]

DIE FOLGENDE ANORDNUNG IST 4 MAL ERFORDERLICH



FLAECHENNUTZUNG: 111.04 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PARALLELSTRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 5.70 (METER)

MIN. RAUMBREITE: 3.30 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 5.61

FL. FUER ANLIEF.: 4.00

SEQUENTIELLES PRINZIP.

DIE FOLGENDE ANORDNUNG IST 3 MAL ERFORDERLICH

FLAECHENBEDARF: 87.20 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PA ALLFLEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 6.00 (METER)

MIN. RAUMBREITE: 2.40 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 9.00

FL. FUER ABLIEF.: 4.00

BLOCKANORDNUNG

DIE FOLGENDE ANORDNUNG IST 3 MAL ERFORDERLICH

FLAECHENBEDARF: 87.68 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PARALLELEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 8.40 (METER)

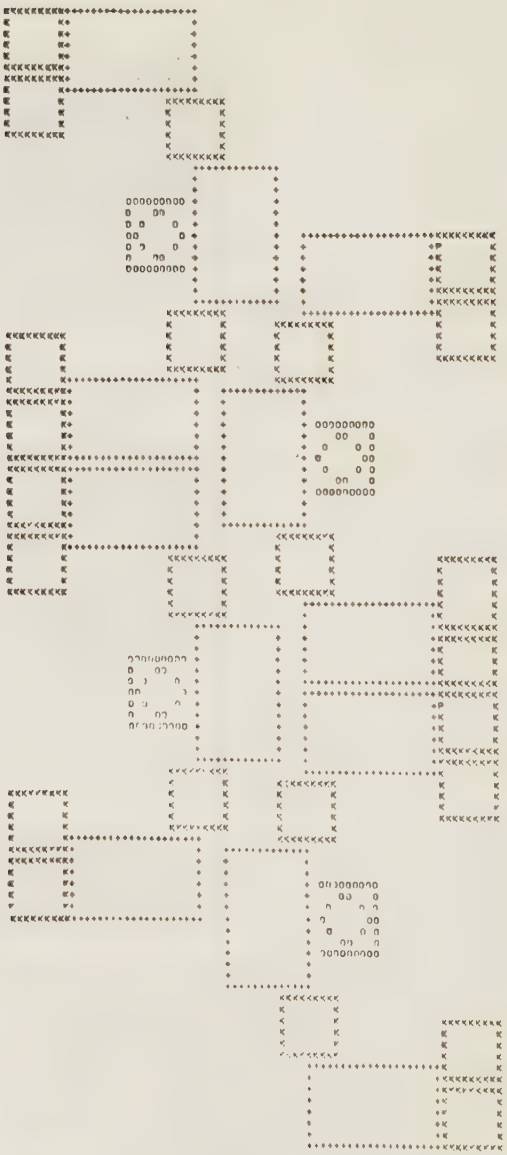
MIN. RAUMBREITE : 2.90 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 5.00

FL. FUER ABLIEF.: 4.00

RAUMSPARLOESUNG

DIE FOLGENDE ANORDNUNG IST 3 MAL ERFORDERLICH



FLAECHENBEDARF: 155.40 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PARALLELLEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 3.75 (METER)

MIN. RAUMBREITE: 4.00 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 12.00

FL. FUER ANLIEF.: 4.50

GLEITENDE ABTAKTUNG

DIE FOLGENDE ANDRONUNG IST 1 MAL ERFORDERLICH

FLAECHENDEDACE: 73.90 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PARALLELEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 11.60 (METER)

MIN. RAUMBREITE : 1.40 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 7.00

FL. FUER ABLIEF.: 4.20

MECHANISIERTER TRANSFER MIT KOMMUNIKATIONSMOEGLICHKEIT

DIE FOLGENDE ANORDNUNG IST 3 MAL ERFORDERLICH

```
                                  I  I
                                  I  I
                                  I  I
                 0000000000       I  I
                 0   00   0       I  I
                 0  0  0  0       I  I
                 0  0  0  0       I  I
                 0   00   0       I  I
          -----------------------  I
          I                        I
          I  +++++++++++++++++++++----
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +++++++++++++++++++
          I  +++++++++++++++++++
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +++++++++++++++++++----
          I                        I
          -----------------------  I
                 0   00   0       I  I
                 0  0  0  0       I  I
                 0  0  0  0       I  I
                 0   00   0       I  I
                 0000000000       I  I
                                  I  I
                                  I  I
                                  I  I
                                  I  I
                                  I  I
                                  I  I
                 0000000000       I  I
                 0   00   0       I  I
                 0  0  0  0       I  I
                 0  0  0  0       I  I
                 0   00   0       I  I
          -----------------------  I
          I                        I
          I  +++++++++++++++++++++----
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +++++++++++++++++++
          I  +++++++++++++++++++
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +                  +
          I  +++++++++++++++++++----
          I                        I
          -----------------------  I
                 0   00   0       I  I
                 0  0  0  0       I  I
                 0  0  0  0       I  I
                 0   00   0       I  I
                 0000000000       I  I
                                  I  I
                                  I  I
                                  I  I
```

FLAECHENBEDARF: 66.60 (QUADRATMETER)

ABMESSUNGEN JE PARALLELEINRICHTUNG

GESAMTLAENGE: 6.80 (METER)

MIN. RAUMBREITE : 1.50 (METER)

FL. FUER ANLIEF.: 7.50

FL. FUER ABLIEF.: 4.50

Linienmontage

Anordnung als Skelettband

4.2.2. Qualitative Bewertung

NUTZWERTANALYSE — ALTERNATIVE: 1

KRIT.	ZIELKRITERIUM	GEWICHT	PESS. SCORE	PESS. WAHR.	NORM. SCORE	NORM. WAHR.	OPT. SCORE	OPT. WAHR.
1.0.	QUANTIFIZIERBARE KRIT.	25						
1.1.	INVESTITIONEN	35	5	0.05	8	0.75	9	0.20
1.2.	UNTERHALTSKOSTEN	15	5	0.10	7	0.85	9	0.05
1.3.	LOHN-U. LOHNGEMEINK.	25	3	0.30	6	0.60	8	0.10
1.4.	FAHLVERLUSTE	10	7	0.10	8	0.60	10	0.30
1.5.	SPRINGER	10	8	0.10	9	0.50	10	0.40
1.6.	AN- UND UMLERNEN	5	5	0.10	6	0.40	8	0.50
2.0.	MENSCHL. ARBEITSBED.	15						
2.1.	MONOTONIE	20	2	0.10	4	0.60	5	0.30
2.2.	DISPOSITION, VERANTW.	15	1	0.35	3	0.50	4	0.15
2.3.	KOMMUNIKATION	20	3	0.20	4	0.60	6	0.20
2.4.	MONT. VOLLST. PRODUKTE	10	0	1.00	0	0.00	0	0.00
2.5.	GRUPPENINTEGRATION	20	3	0.10	4	0.80	6	0.10
2.6.	GLEITENDE ARBEITSZEIT	15	4	0.20	5	0.60	6	0.20
3.0.	ARBEITSUMFELD	10						
3.1.	PAUSENRAUM	20	4	0.15	7	0.70	8	0.15
3.2.	FARBGESTALTUNG	10	4	0.40	5	0.40	7	0.20
3.3.	STAUB- UND LAERMEINWIRK.	35	2	0.30	5	0.50	5	0.20
3.4.	TEILEANLIEFERUNG	20	3	0.20	4	0.60	5	0.20
3.5.	RAUMBEDARF	15	4	0.30	6	0.50	7	0.20
3.6.	FREI	0	0	1.00	0	0.00	0	0.00
4.0.	ABLAUFGESTALTUNG	20						
4.1.	ERGONOMIE	50	5	0.30	7	0.60	8	0.10
4.2.	TEILETRANSPORT	20	6	0.20	7	0.70	8	0.10
4.3.	ÜBERSCHAUBARKEIT	20	6	0.15	7	0.60	8	0.25
4.4.	QUANTIT. TEILEDURCHLAUF	10	2	0.30	4	0.50	5	0.20
4.5.	FREI	0	0	1.00	0	0.00	0	0.00
4.6.	FREI	0	0	1.00	0	0.00	0	0.00
5.0.	FLEXIBILITAET	25						
5.1.	TYPENFLEXIBILITAET	20	6	0.10	7	0.60	8	0.30
5.2.	STUECKZAHLFLEXIBILITAET	30	7	0.10	8	0.80	9	0.10
5.3.	PERSONALFLEXIBILITAET	30	6	0.20	7	0.70	8	0.10
5.4.	TECHNISCHE FLEXIBILITAET	20	2	0.25	3	0.60	4	0.15
5.5.	FREI	0	0	1.00	0	0.00	0	0.00
5.6.	FREI	0	0	1.00	0	0.00	0	0.00
6.0.	UMWELTBEZIEHUNGEN	5						
6.1.	IMAGE U. D. KUNDEN	20	4	1.00	0	0.00	0	0.00
6.2.	IMAGE U. D. ARBEITSMK.	30	3	0.25	6	0.50	7	0.25
6.3.	IMAGE U. D. ÖFFEL	20	6	1.00	0	0.00	0	0.00
6.4.	LIEFERUNG DER AUFGABE	10	5	1.00	0	0.00	0	0.00
6.5.	LIEFERUNG V. ERSATZTEIL	10	7	1.00	0	0.00	0	0.00
6.6.	QUALITAET D. KUNDENDIENS	10	7	1.00	0	0.00	0	0.00

```
  X       P(X)       S(X) I---------+---------+---------+---------+---------
4.63 0.000000 0.000000 I
4.68 0.000000 0.000000 I
4.73 0.000000 0.000000 I
4.78 0.000000 0.000000 I
4.83 0.000000 0.000000 I
4.88 0.000000 0.000000 I
4.93 0.000000 0.000000 I
4.98 0.000000 0.000000 I
5.03 0.000000 0.000000 I
5.08 0.000001 0.000002 I
5.13 0.000005 0.000007 I
5.18 0.000018 0.000026 I
5.23 0.000050 0.000076 I
5.28 0.000122 0.000198 I
5.33 0.000262 0.000460 I
5.38 0.000520 0.000981 I
5.43 0.000985 0.001966 I
5.48 0.001824 0.003790 I*
5.53 0.003309 0.007099 I*
5.58 0.005801 0.012899 I**
5.63 0.009671 0.022571 I**●
5.68 0.015217 0.037787 I***●*
5.73 0.022635 0.060422 I******●
5.78 0.032045 0.092468 I*********●
5.83 0.043436 0.135904 I*************●
5.88 0.056435 0.192339 I*******************O
5.93 0.069953 0.262292 I************************O
5.98 0.082151 0.344443 I*************************O
6.03 0.091133 0.435576 I***************************** O
6.08 0.095867 0.531443 I*******************************O
6.13 0.096159 0.627602 I*******************************●
6.18 0.091780 0.719382 I*****************************●**
6.23 0.082302 0.801685 I*********************●***
6.28 0.068163 0.869848 I*******************●**
6.33 0.051428 0.921276 I*************●**
6.38 0.035077 0.956352 I**********●*
6.43 0.021554 0.977906 I******●
6.48 0.011917 0.989823 I***●
6.53 0.005925 0.995748 I**O
6.58 0.002646 0.998395 I*
6.63 0.001060 0.999455 IO
6.68 0.000330 0.999834 I
6.73 0.000121 0.999955 I
6.78 0.000034 0.999989 I
6.83 0.000008 0.999998 I
6.88 0.000002 1.000000 I
6.93 0.000000 1.000000 I
6.98 0.000000 1.000000 I
7.03 0.000000 1.000000 I
7.08 0.000000 1.000000 I
7.11 0.000000 1.000000 I


PSUM = 1.000000
RMY =    6.080
SIGM =     0.201
```

NUTZWERTANALYSE ALTERNATIVE: 2

KRIT.	ZIELKRITERIUM	GEWICHT	PESS. SCORE	PESS. WAHR.	NORM. SCORE	NORM. WAHR.	OPT. SCORE	OPT. WAHR.
1.0.	QUANTIFIZIERBARE KRIT.	25						
1.1.	INVESTITIONEN	35	1	0.05	8	0.75	9	0.20
1.2.	UNTERHALTSKOSTEN	15	2	0.10	8	0.85	9	0.05
1.3.	LOHN-U. LOHNGEMEINK.	25	3	0.30	8	0.60	10	0.10
1.4.	TAKTVERLUSTE	10	4	0.10	4	0.60	5	0.30
1.5.	SPRINGER	10	3	0.10	3	0.50	4	0.40
1.6.	AN- UND UMLERNEN	5	5	0.10	6	0.40	8	0.50
2.0.	MENSCHL. ARBEITSBED.	15						
2.1.	MONOTONIE	20	0	0.10	2	0.60	3	0.30
2.2.	DISPOSITION, VERANTW.	15	0	0.35	2	0.50	4	0.15
2.3.	KOMMUNIKATION	20	1	0.20	3	0.60	4	0.20
2.4.	MONT. VOLLST. PRODUKTE	10	0	1.00	0	0.00	0	0.00
2.5.	GRUPPENINTEGRATION	20	1	0.10	2	0.80	3	0.10
2.6.	GLEITENDE ARBEITSZEIT	15	0	1.00	0	0.00	0	0.00
3.0.	ARBEITSUMFELD	10						
3.1.	PAUSENRAUM	20	4	0.15	7	0.70	8	0.15
3.2.	FARBGESTALTUNG	10	4	0.40	5	0.40	7	0.20
3.3.	STAUB- UND LAERMEINWIRK.	35	1	0.30	4	0.30	5	0.20
3.4.	TEILEANLIEFERUNG	20	3	0.20	5	0.60	8	0.20
3.5.	RAUMBEDARF	15	6	0.30	8	0.50	10	0.20
3.6.	FREI	0	0	1.00	0	0.00	0	0.00
4.0.	ABLAUFGESTALTUNG	20						
4.1.	ERGONOMIE	50	5	0.30	7	0.60	9	0.10
4.2.	TEILETRANSPORT	20	6	0.20	7	0.70	8	0.10
4.3.	UEBERSCHAUBARKEIT	20	6	0.15	7	0.60	9	0.25
4.4.	QUANTIF. TEILEUMLAUF	10	4	0.30	7	0.50	9	0.20
4.5.	FREI	0	0	1.00	0	0.00	0	0.00
4.6.	FREI	0	0	1.00	0	0.00	0	0.00
5.0.	FLEXIBILITAET	25						
5.1.	TYPENFLEXIBILITAET	20	4	0.10	5	0.60	7	0.30
5.2.	STUECKZAHLFLEXIBILITAET	30	0	0.10	2	0.80	3	0.10
5.3.	PERSONALFLEXIBILITAET	30	6	1.00	0	0.00	0	0.00
5.4.	TECHNISCHE FLEXIBILITAET	20	6	0.25	8	0.60	10	0.15
5.5.	FREI	0	0	1.00	0	0.00	0	0.00
5.6.	FREI	0	0	1.00	0	0.00	0	0.00
6.0.	UMWELTBEZIEHUNGEN	[illegible]						
6.1.	IMAGE B. D. KUNDEN	20	4	1.00	0	0.00	0	0.00
6.2.	IMAGE B. D. ARBEITSKR.	30	1	0.10	1	0.80	2	0.10
6.3.	IMAGE B. D. UMWELT	20	6	1.00	0	0.00	0	0.00
6.4.	LIEFERUNG DER ANLAGEN	10	5	1.00	0	0.00	0	0.00
6.5.	LIEFERUNG V. ERSATZTEILE	10	7	1.00	0	0.00	0	0.00
6.6.	QUALITAET D. RUNDENDIENS	10	7	1.00	0	0.00	0	0.00

```
  X       P(X)       S(X) I---------*---------*---------*---------
3.23 0.000000 0.000000 I
3.28 0.000000 0.000000 I
3.33 0.000000 0.000000 I
3.38 0.000000 0.000000 I
3.43 0.000000 0.000000 I
3.48 0.000000 0.000000 I
3.53 0.000000 0.000000 I
3.58 0.000000 0.000000 I
3.63 0.000000 0.000001 I
3.68 0.000001 0.000002 I
3.73 0.000003 0.000005 I
3.78 0.000007 0.000011 I
3.83 0.000014 0.000025 I
3.88 0.000028 0.000053 I
3.93 0.000052 0.000105 I
3.98 0.000093 0.000198 I
4.03 0.000158 0.000356 I
4.08 0.000258 0.000613 I
4.13 0.000401 0.001014 I
4.18 0.000595 0.001609 I
4.23 0.000840 0.002449 I
4.28 0.001135 0.003585 I
4.33 0.001481 0.005066 I*
4.38 0.001886 0.006951 I*
4.43 0.002369 0.009320 I*
4.48 0.002937 0.012276 I*
4.53 0.003689 0.015967 I**
4.58 0.004625 0.020593 I**
4.63 0.005879 0.026471 I**O
4.68 0.007603 0.034074 I***O
4.73 0.009966 0.044042 I****O
4.78 0.013096 0.057139 I***** O
4.83 0.017001 0.074140 I******* O
4.88 0.021627 0.095767 I********* O
4.93 0.026373 0.122640 I**********  O
4.98 0.032699 0.155339 I*************** O
5.03 0.039053 0.194391 I****************  O
5.08 0.045809 0.240201 I******************** O
5.13 0.052615 0.292816 I********************** O
5.18 0.058956 0.351772 I*************************
5.23 0.064360 0.416141 I*************************
5.28 0.068530 0.484671 I*************************
5.33 0.071229 0.555900 I*************************
5.38 0.072150 0.628050 I*************************
5.43 0.070737 0.698787 I*************************
5.48 0.066333 0.765320 I*************************
5.53 0.059405 0.824729 I*********************
5.58 0.050141 0.874870 I*****************
5.63 0.039844 0.914714 I***************
5.68 0.029860 0.944575 I************
5.73 0.021120 0.965694 I*********O
5.78 0.014132 0.979825 I****** O
5.83 0.008939 0.988765 I**** O
5.88 0.005337 0.994102 I** O
5.93 0.002995 0.997097 I* O
5.98 0.001571 0.998668 I*O
6.03 0.000766 0.999435 IO
6.08 0.000173 0.999608 I

PSUM = 0.999608
RMY =    5.288
SIGM =     0.308
```

4.2.3. Quantitative Bewertung

KONTROLLAUSDRUCK EINGABEDATEN

INVESTITIONSAUFWENDUNGEN

ARBEITSTISCH	350.00
ARBEITSSTUHL	180.00
VESPERKASTEN	60.00
TISCH F. PAUSENRAUM	250.00
STUHL F. PAUSENRAUM	100.00
LEBENSDAUER	4
PREIS 1 ANTRIEBSEINHEIT	300.00
PREIS 1 METER TRANSPORTMITTEL	200.00
RESTVERKAUFSERLOES	2000.00
KALKULATIONSZINSFUSS	15.00

VERTEILUNG DER URLAUBSDAUERN (TAGE)

TAGE		HAEUFIGKEIT
1	+	30.00
2	+	14.30
3	+	9.50
4	+	8.10
5	+	7.80
6	+	3.00
7	+	2.80
8	+	2.40
9	+	2.20
10	+	4.00
11	+	2.20
12	+	1.50
13	+	1.00
14	+	1.20
15	+	3.70
16	+	1.40
17	+	0.70
18	+	0.50
19	+	0.70
20	+	1.30
21	+	1.20
22	+	0.20
23	+	0.20
24	+	0.00
25	+	0.00

DAUER BIS ERSATZPERSON VERFUEGBAR IST.

0.00 30.00 60.00

VERTEILUNG DER KRANKHEITSDAUERN (TAGE)

TAGE		HAEUFIGKEIT
1	+	16.09
2	+	9.58
3	+	7.66
4	+	8.24
5	+	10.15
6	+	3.83
7	+	3.45
8	+	4.60
9	+	3.64
10	+	7.28
11	+	3.64
12	+	1.92
13	+	1.15
14	+	1.53
15	+	2.49
16	+	2.11
17	+	1.72
18	+	1.53
19	+	0.57
20	+	3.45
21	+	1.15
22	+	2.30
23	+	1.92
24	+	0.00
25	+	0.00

DATEN FUER SIMULATIONSABLAEUFE.
VERTEILUNG DER STOERDAUERN.

STOERDAUER	HAEUFIGKEIT
1 - 30	35.63
31 - 60	33.02
61 - 90	15.35
91 - 120	8.74
121 - 150	3.81
151 - 180	2.51
181 - 210	0.37
211 - 240	0.28
241 - 270	0.09
271 - 300	0.09
301 - 330	0.00
331 - 360	0.09

STOERDAUERVERTEILUNG INNERHALB DER INTERVALLE

ZUSATZDAUERN INNERHALB DER INTERVALLE		HAEUFIGKEIT
0.00	+	3.33
1.00	+	3.33
2.00	+	3.33
3.00	+	3.33
4.00	+	3.33
5.00	+	3.33
6.00	+	3.33
7.00	+	3.33
8.00	+	3.33
9.00	+	3.33
10.00	+	3.33
11.00	+	3.33
12.00	+	3.33
13.00	+	3.33
14.00	+	3.43
15.00	+	3.33
16.00	+	3.33
17.00	+	3.33
18.00	+	3.33
19.00	+	3.33
20.00	+	3.33
21.00	+	3.33
22.00	+	3.33
23.00	+	3.33
24.00	+	3.33
25.00	+	3.33
26.00	+	3.33
27.00	+	3.33
28.00	+	3.33
29.00	+	3.33

VERTEILUNG DER STOERZEITPUNKTE

ZEIT BIS ZUR NAECHSTEN STOERUNG		HAEUFIGKEIT
0	+	62.71
300	+	12.21
600	+	6.86
900	+	6.52
1200	+	3.18
1500	+	1.84
1800	+	1.34
2100	+	0.67
2400	+	1.17
2700	+	0.50
3000	+	0.50
3300	+	0.33
3600	+	0.33
3900	+	0.50
4200	+	0.50
4500	+	0.17
4800	+	0.17
5100	+	0.17
5400	+	0.00
5700	+	0.00
6000	+	0.00
6300	+	0.17
6600	+	0.00
6900	+	0.00
7200	+	0.00
7500	+	0.17
7800	+	0.00
8100	+	0.00

VERTEILUNG DER NACHARBEITSDAUERN

DAUER		HAEUFIGKEIT
0.05	+	5.00
0.10	+	6.00
0.15	+	9.50
0.20	+	3.70
0.25	+	4.30
0.30	+	7.50
0.35	+	8.40
0.40	+	6.10
0.45	+	2.50
0.50	+	2.00
0.55	+	3.33
0.60	+	3.33
0.65	+	3.33
0.70	+	3.33
0.75	+	3.33
0.80	+	3.33
0.85	+	3.33
0.90	+	3.33
0.95	+	3.33
1.00	+	3.33
1.05	+	3.33
1.10	+	3.33
1.15	+	3.33
1.20	+	3.33
1.25	+	3.33
1.30	+	3.33
1.35	+	3.33
1.40	+	3.33
1.45	+	3.33
1.50	+	3.33
1.55	+	1.00
1.60	+	2.00
1.65	+	3.00
1.70	+	4.00
1.75	+	5.00
1.80	+	6.00
1.85	+	7.00
1.90	+	8.00
1.95	+	9.00
2.00	+	10.00
2.05	+	16.00
2.10	+	17.00
2.15	+	18.00
2.20	+	19.00
2.25	+	20.00
2.30	+	21.00
2.35	+	22.00
2.40	+	23.00
2.45	+	24.00
2.50	+	25.00

OBERGRENZE DER ZUFALLSZAHLEN 9999.00
ANFANGSWERT FUER ZUFALLSZAHLEN 1234

ZEITBESTIMMUNG

ARBEITSBEGINN	6.00	UHR
SCHICHTENDE	14.50	UHR
TAGESOBERGRENZE	2.00	
SCHICHTZAHL	1.00	

AUFBAU DER STATIONEN

BEHAELTER(TYP 1)	5.
BEHAELTER(TYP 2)	10.
BEHAELTER(TYP 3)	2.
BEHAELTER(TYP 4)	3.
TEILEZAHL	20.
SUMME BEARB.ZEIT	8.00
GREIFHOEHE	25.

ANGABEN FUER BEWERTUNG DER ALTERNATIVEN

GEMEINKOSTENSATZ (PROZENT)	150.00
MATERIALKOSTEN (DM)	2.00
DURCHSCHN. ZUS. MAT.-KOSTEN F. NACHARBEIT	0.50
DURCHSCHN. ZUS. MAT.-KOSTEN F. GARANTIEARB.	0.50
ENERGIEKOSTENSUMME	0.50
SCHROTTERLOES F. AUSSCHUSSTEIL (DM)	0.50
DURCHSCHNITTSGEHALT DER MEISTER	2500.00
DURCHSCHNITTLICHE VERTRIEBSKOSTEN	1.50
RAUMKOSTENSATZ PRO QUADRATMETER	5.00

ERLOES PRO STUECK 90.00

ALTERNATIVENZAHL 4

KONTROLLAUSDRUCK ALTERNATIVENDATEN FUER ALTERNATIVE 1

STATIONENZAHL	5
PERSONENZAHL	5
TAKTVERLUST (MIN/STUECK)	20.00
ZAHL DER PARALLELEINRICHTUNGEN	2
BELEGTE FLAECHE	150.00
GESAMTLAENGE	40.00
ZAHL DER ANTRIEBSEINHEITEN	1.00

ANGABE DES ANORDNUNGSPRINZIPS
(NUR EINE ANGABE IST ZULAESSIG)

LINIENMONTAGE

DATEN FUER PUFFERBERECHNUNG

PUFFERLAENGE BEI UMLAUFANORDNUNG	950.00
PUFFERBREITE BEI UMLAUFANORDNUNG	40.00
GRUNDFLAECHE DES WERKSTUECKS	20.00
PUFFERLAENGE BEI UMLAUFANORDNUNG	0.00
PUFFERBREITE BEI UMLAUFANORDNUNG	0.00
PUFFERLAENGE NACH STATION 1	100.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 1	50.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 2	120.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 2	50.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 3	80.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 3	50.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 4	100.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 4	50.00(CM)

PERSONALDATEN

MINUTENFAKTOR DER ALTERNATIVE	0.1042
MONATSLOHN EINES VORARBEITERS	1890.00
ZAHL DER VORARBEITER	3.00
KOSTEN DER EINSTELLUNG EINES BA	150.00
ZAHL DER HILFSKRAEFTE	2.00
MONATSLOHN EINER HILFSKRAFT	1400.00
PERSONENZAHL JE MEISTER	60
PERSOENLICHE VERTEILZEIT	4.00
KOSTEN DER ANWERBUNG EINES BA	90.00
KOSTEN DER PERSONALAUSWAHL	50.00
ERWARTETE DURCHSCHNITTSLEISTUNG	130.00

VARIIERBARE ANGABEN

FEHLERPROZENTSATZ (MONTAGEFEHLER)	9.00
NACHARBEITSPROZENTSATZ	70.00
ERWARTETE FLUKTUATIONSRATE	10.00
PROZENTSATZ DER ABWESENHEITSZEITEN	8.00
KAP.-MINDERUNG AB D. IMMER ERSATZ (%)	15.00
FEHLERPROZENTSATZ (GARANTIEFEHLER)	3.00
GARANTIEREPARATURPROZENTSATZ	60.00

KONTROLLAUSDRUCK ALTERNATIVENDATEN FUER ALTERNATIVE 2

STATIONENZAHL	2
PERSONENZAHL	2
TAKTVERLUST (MIN/STUECK)	0.00
ZAHL DER PARALLELEINRICHTUNGEN	5
BELEGTE FLAECHE	50.00
GESAMTLAENGE	12.00
ZAHL DER ANTRIEBSEINHEITEN	0.00

ANGABE DES ANORDNUNGSPRINZIPS
(NUR EINE ANGABE IST ZULAESSIG)

UMLAUFANORDNUNG

DATEN FUER PUFFERBERECHNUNG

PUFFERLAENGE BEI UMLAUFANORDNUNG	440.00
PUFFERBREITE BEI UMLAUFANORDNUNG	20.00
GRUNDFLAECHE DES WERKSTUECKS	20.00
PUFFERLAENGE BEI UMLAUFANORDNUNG	0.00
PUFFERBREITE BEI UMLAUFANORDNUNG	0.00
PUFFERLAENGE NACH STATION 1: 60.00(CM)	
PUFFERBREITE NACH STATION 1: 20.00(CM)	

PERSONALDATEN

MINUTENFAKTOR DER ALTERNATIVE	0.1042
MONATSLOHN EINES VORARBEITERS	1890.00
ZAHL DER VORARBEITER	2.00
KOSTEN DER EINSTELLUNG EINES BA	150.00
ZAHL DER HILFSKRAEFTE	2.00
MONATSLOHN EINER HILFSKRAFT	400.00
PERSONENZAHL JE MEISTER	50
PERSOENLICHE VERTEILZEIT	4.00
KOSTEN DER ANWERBUNG EINES BA	90.00
KOSTEN DER PERSONALAUSWAHL	50.00
ERWARTETE DURCHSCHNITTSLEISTUNG	135.00

VARIIERBARE ANGABEN

FEHLERPROZENTSATZ (MONTAGEFEHLER)	10.00
NACHARBEITSPROZENTSATZ	90.00
ERWARTETE FLUKTUATIONSRATE	5.00
PROZENTSATZ DER ABWESENHEITSZEITEN	4.00
KAP.-MINDERUNG AB D. IMMER ERSATZ (%)	30.00
FEHLERPROZENTSATZ (GARANTIEFEHLER)	3.00
GARANTIEREPARATURPROZENTSATZ	60.00

KONTROLLAUSDRUCK ALTERNATIVENDATEN FUER ALTERNATIVE 3

STATIONENZAHL	10
PERSONENZAHL	10
TAKTVERLUST (MIN/STUECK)	50.00
ZAHL DER PARALLELEINRICHTUNGEN	1
BELEGTE FLAECHE	30.00
GESAMTLAENGE	15.00
ZAHL DER ANTRIEBSEINHEITEN	0.00

ANGABE DES ANORDNUNGSPRINZIPS
(NUR EINE ANGABE IST ZULAESSIG)

LINIENMONTAGE

DATEN FUER PUFFERBERECHNUNG

PUFFERLAENGE BEI UMLAUFANORDNUNG	0.00
PUFFERBREITE BEI UMLAUFANORDNUNG	0.00
GRUNDFLAECHE DES WERKSTUECKS	20.00
PUFFERLAENGE BEI UMLAUFANORDNUNG	0.00
PUFFERBREITE BEI UMLAUFANORDNUNG	0.00
PUFFERLAENGE NACH STATION 1:	60.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 1:	20.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 2:	60.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 2:	20.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 3:	60.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 3:	20.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 4:	60.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 4:	20.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 5:	60.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 5:	20.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 6:	60.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 6:	20.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 7:	60.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 7:	20.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 8:	60.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 8:	20.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 9:	60.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 9:	20.00(CM)

PERSONALDATEN

MINUTENFAKTOR DER ALTERNATIVE	0.1042
MONATSLOHN EINES VORARBEITERS	1890.00
ZAHL DER VORARBEITER	2.00
KOSTEN DER EINSTELLUNG EINES BA	150.00
ZAHL DER HILFSKRAEFTE	1.00
MONATSLOHN EINER HILFSKRAFT	400.00
PERSONENZAHL JE MEISTER	70
PERSOENLICHE VERTEILZEIT	4.00
KOSTEN DER ANWERBUNG EINES BA	90.00
KOSTEN DER PERSONALAUSWAHL	50.00
ERWARTETE DURCHSCHNITTSLEISTUNG	125.00

VARIIERBARE ANGABEN

FEHLERPROZENTSATZ (MONTAGEFEHLER)	12.00
NACHARBEITSPROZENTSATZ	70.00
ERWARTETE FLUKTUATIONSRATE	15.00
PROZENTSATZ DER ABWESENHEITSZEITEN	10.00
KAP.-MINDERUNG AB D. IMMER ERSATZ (%)	20.00
FEHLERPROZENTSATZ (GARANTIEFEHLER)	3.00
GARANTIEREPARATURPROZENTSATZ	60.00

KONTROLLAUSDRUCK ALTERNATIVENDATEN FUER ALTERNATIVE 4

STATIONENZAHL	5
PERSONENZAHL	5
TAKTVERLUST (MIN/STUECK)	0.00
ZAHL DER PARALLELEINRICHTUNGEN	1
BELEGTE FLAECHE	50.00
GESAMTLAENGE	10.00
ZAHL DER ANTRIEBSEINHEITEN	1.00

ANGABE DES ANORDNUNGSPRINZIPS
(NUR EINE ANGABE IST ZULAESSIG)

GLEITENDE ABTAKTUNG

DATEN FUER PUFFERBERECHNUNG

PUFFERLAENGE BEI UMLAUFANORDNUNG	0.00
PUFFERBREITE BEI UMLAUFANORDNUNG	0.00
GRUNDFLAECHE DES WERKSTUECKS	10.00
PUFFERLAENGE BEI UMLAUFANORDNUNG	10.00
PUFFERBREITE BEI UMLAUFANORDNUNG	20.00
PUFFERLAENGE NACH STATION 1:	0.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 1:	0.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 2:	0.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 2:	0.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 3:	0.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 3:	0.00(CM)
PUFFERLAENGE NACH STATION 4:	0.00(CM)
PUFFERBREITE NACH STATION 4:	0.00(CM)

PERSONALDATEN

MINUTENFAKTOR DER ALTERNATIVE	0.1200
MONATSLOHN EINES VORARBEITERS	2000.00
ZAHL DER VORARBEITER	1.00
KOSTEN DER EINSTELLUNG EINES BA	500.00
ZAHL DER HILFSKRAEFTE	1.00
MONATSLOHN EINER HILFSKRAFT	1500.00
PERSONENZAHL JE MEISTER	80
PERSOENLICHE VERTEILZEIT	8.00
KOSTEN DER ANWERBUNG EINES BA	90.00
KOSTEN DER PERSONALAUSWAHL	90.00
ERWARTETE DURCHSCHNITTSLEISTUNG	130.00

VARIIERBARE ANGABEN

FEHLERPROZENTSATZ (MONTAGEFEHLER)	8.00
NACHARBEITSPROZENTSATZ	65.00
ERWARTETE FLUKTUATIONSRATE	10.00
PROZENTSATZ DER ABWESENHEITSZEITEN	10.00
KAP.-MINDERUNG AB D. IMMER ERSATZ (%)	80.00
FEHLERPROZENTSATZ (GARANTIEFEHLER)	2.00
GARANTIEREPARATURPROZENTSATZ	70.00

AUSWERTUNG

RANG	KAPITALBARWERT	ALTERNATIVE	STATIONEN	PERSONEN	PARALLELEINRICHTUNGEN	GESAMTINVESTITION
1	365771.18	2	2	2	5	50150.00
2	351295.88	1	5	5	2	30500.00
3	251290.79	4	5	5	1	36250.00
4	168446.32	3	10	10	1	40650.00

4.3. Anwendungsmöglichkeiten

Die vorgestellten Systeme zur Alternativenauswahl und Bewertung sind so konzipiert, daß ihre Anwendung auch in anders gelagerten Montagefällen in Frage kommt. Bedingung ist lediglich, daß alle relevanten Einflußgrößen sowohl bei der Ermittlung der Anordnungsformen als auch bei deren Bewertung berücksichtigt werden können. Das ist grundsätzlich für alle Kleingeräte denkbar. Aber auch Montageeinrichtungen für andere Produkte sind zu bewältigen, wenn die Stationen und Transportsysteme nur als Prinzipdarstellung aufgefaßt werden und in ihren tatsächlichen Dimensionen in Flächenbedarfsberechnung, Investitionsrechnung usw. eingehen.

Ohne Schwierigkeiten sind sowohl niedrige Stückzahlvorgaben (z.B. durch einen Mindermengenzuschlag, der in den Minutenfaktor eingeht) als auch Großserien zu bewältigen.

Die Bewertungsverfahren sind hier unabhängig voneinander dargestellt, sollten sich aber in praktischen Entscheidungssituationen ergänzen.

So könnte, mit deterministischer Vorgabe der sonst im Unterprogramm TAG berechneten Werte für Ausstoß, Ausschuß, Nacharbeit, Wartezeiten und Störzeiten, eine Berechnung der Kapitalbarwerte erfolgen, die dann, zur Einordnung der Alternativen im Rahmen der Zielgruppe quantifizierbare Kriterien, bei der Nutzwertanalyse Verwendung finden.

Umgekehrt kann die mit weniger Rechenaufwand verbundene Nutzwertanalyse zu einer Alternativenvorauswahl führen. Die Entscheidung für eine Organisationsform erfolgt dann erst nach Durchführung der quantitativen Bewertung.

Schließlich können auch beide Bewertungsverfahren nebeneinander angewendet werden. Wenn in beiden Fällen die gleiche Alternative "optimal" ist, verringert sich das Risiko einer Fehleinschätzung.

Der Einsatz der hier beschriebenen Verfahren ist jedenfalls vor der Durchführung von Experimenten mit veränderten Arbeitsstrukturen zu empfehlen. In diesem Fall ist zwar die Prognose zukünftiger Auswirkungen erforderlich, aber mit zunehmender Planungspraxis kann davon ausgegangen werden, daß diese Vorhersagen sicherer werden. Die Rückkopplung führt so, zumindest auf längere Sicht, zur Entwicklung "optimaler" Montagesysteme. Der langwierige Lernprozeß ist hier sicher zu tolerieren, da Experimente mit neuen Arbeitsstrukturen hohe Investitionen erfordern.

Ein weiterer, wichtiger Aspekt, der bei der Realisierung strukturierter Arbeitssysteme zu beachten ist, muß in der Fähigkeit und Bereitschaft der Arbeitskräfte gesehen werden, einen vergrößerten Arbeitsinhalt zu bewältigen und höhere Verantwortung zu übernehmen.

Obwohl in vielen Fällen Arbeitsunzufriedenheit als Folge von eintöniger Arbeit und Abhängigkeit von benachbarten Arbeitsplätzen auftritt, sind andere Arbeitskräfte mit dem Arbeitsangebot zufrieden. Sie sind entweder nicht bereit, weitergehende Aufgaben zu übernehmen oder wären mit einer Aufgabenerweiterung überfordert. Es wird deshalb immer notwendig sein, ein differenziertes Arbeitsangebot bereitzustellen, um allen Vorstellungen der Arbeitskräfte gerecht werden zu können.

5. Ausblick

Die vorgestellten Modelle sind in mancher Hinsicht erweiterungsfähig.
So wäre die Gestaltung von Dialogmodellen zur Gewichtung der Zielkriterien und zur Angabe der Score-Werte und Wahrscheinlichkeiten denkbar. Außerdem könnte in einer Sensitivitätsanalyse, durch Variation von Zielgewichten, Scores und Wahrscheinlichkeiten die Stabilität der Ergebnisse der Nutzwertanalyse untersucht werden. Auch die Lösungen des quantitativen Bewertungsverfahrens wären durch Variation der individuell geschätzten Prozentsätze und Verteilungen im Rahmen einer Sensitivitätsbetrachtung zu prüfen.

Bei der Alternativenerzeugung ist die Integration eines Rechenverfahrens zur Pufferoptimierung denkbar. Schließlich könnte die, hier vorausgesetzte, Bestimmung eines optimalen Mechanisierungsgrads diesen Überlegungen vorausgehen.

Im Anschluß an die Alternativenauswahl kann an eine Verknüpfung der Ergebnisse mit den Programmen zur Feinplanung gedacht werden (z.B. Abtaktungsverfahren, Maschinenbelegungsrechnung, Betriebsdatenerfassung oder Materialwirtschaftsprogramm).

Abkürzungsverzeichnis

FAZ	Frankfurter Allgemeine Zeitung
M. d. IfaA	Mitteilungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft

Literaturverzeichnis

ALLGAIER, R. (1976): Zur Lösung von Zielkonflikten. Meisenheim/Glan

AYRES, R.U. (1971): Prognose und langfristige Planung in der Technik. München

BEEK, H.G. von (1973): Der Einfluß der Organisation eines Fließbandes auf die Produktion und die Einstellung zur Arbeit. M. d. IfaA., Sonder-Nr. 41, Köln, September 1973, S. 15 - 32.

BEHRENDT, E. (1971): Fließband läuft rückwärts. Technische Rundschau Nr. 42 v. 1.10.71

BOWMAN, E.H. (1960): Assembly Line Balancing by Linear Programming. Operations Research, 8, 1960. S. 385-389

BRAYFIELD, A.H. und CROCKETT, W.H. (1955): Employer attitudes and employee performance. Psychological Bulletin, 1955, 52, S. 396 - 424

BREDE, H. (1974): Arbeitsorganisation und Leistungsabstimmung am Fließband. M. d. IfaA, Nr. 51, Köln, Juni 1974, S. 29 - 38

BROCKHOFF, K. (1973): Forschungsprojekte und Forschungsprogramme: ihre Bewertung und Auswahl, Wiesbaden

BROKMANN, W. (1974): Arbeitsstrukturierung bei Ford - dargestellt am Beispiel der Federbeinmontage - Mitteilungen des IfaA, Nr. 54, Köln, September 1974, S. 3 - 26

BROKMANN, W. (1976): Arbeitsstrukturierung - ganzheitliche Gestaltung der Arbeit. Mitteilungen des IfaA, Nr. 61, Köln, Februar 1976, S. 60 - 63

BUNZ, A.R., JANSEN, R., SCHACHT, K. (1973): Qualität des Arbeitslebens. Hrsg. Bundesminister für Arbeit und Sozialordnung, Bonn, Mai 1974

BUSSMANN, K.F. und MERTENS, P.,Hrsg. (1968): Operations Research und Datenverarbeitung bei der Produktionsplanung. Stuttgart: Poeschel, 1968

BUTERA, F. (1973): Die Rolle des Marktes, der Produktgestaltung, des sozialen Hintergrundes und des Unternehmensstils im Falle organisatorischer Veränderungen. Mitteilungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft, Sonder-Nr. 42, Köln, September 1973, S. 23-51

CARLSON, R.E. (1969): Degree of job fit as a moderator of the relationship between job performance and job satisfaction. Personnel Psychology, 1969, 22, S. 159-170

CHURCHMAN, C.W. and ACKOFF, R.L. (1954): An Approximate Measure of Value. Operations Research, Vol. 2, S. 172 - 187, 1954

COSTELLO, T.W. und ZALKIND, S.S. (1963): Psychology in administration. A research orientation. Englewood Cliffs 1963

DIEBSCHLAG, W. (1974): Stress am modernen Arbeitsplatz. Arbeitsmedizin - Sozialmedizin - Präventivmedizin 10/74, S. 217-222

DOLEZALEK, C.M. (1966): Was ist Automatisierung? Werkstatttechnik 56, (1966), 5, S. 217

DÖRKEN, W. (1975): Formen der Arbeitsstrukturierung Leistung und Lohn Nr. 56/57, Mai 1975. Hrsg.: Bundesvereinigung der deutschen Arbeitgeberverbände

ELDAKKAK, Y. und RÜMMLER, G. (1970): Beitrag zur Bestimmung von optimalen Taktzeiten in Montage-Fließreihen - Kriterien zur Anwendung von Parallel-Fließreihen und losweiser Montage. Fertigungstechnik und Betrieb 2Q (1970) H. 12 S. 515-719

ELLINGER, Th. (1974): Betriebswirtschaftlich-technologische Aspekte zur Fließbanddiskussion. Rationalisierung 25. Jahrg. 1974, Heft 1

EMMERT, P. (1974): Die Planung und Beurteilung von Investitionsvorhaben in einem Mensch-Maschinen-Kommunikationssystem. Diss. Nürnberg 1974

EULER, H.P. (1976): Zur Problematik der Arbeitszufriedenheit insbesondere der Determinanten bei Herzberg. Mitteilungen der IfaA, Nr. 61, Köln, Februar 1976, S. 39 - 59

FISCHER, R. (1973): Erfolge gegen hohe Fehlzeiten durch gezielte Maßnahmen. Personal, Mensch und Arbeit, Heft 5/1973, S. 182 - 184

FISHBURN, P.C. (1964): Decision and Value Theory, New York

FONTIJNE, J. (1973): Experimente mit kleinen autonomen produktorientierten Gruppen. M. d. IfaA, Sonder-Nr. 41, Köln, September 1973, S. 33 - 41

FÖRSTNER, K. (1958): Wahrscheinlichkeitsbetrachtung in der Theorie der Unternehmung. In: Festschrift zum 70. Geburtstag von W. G. Waffenschmidt, Hrsg. K. Brandt, Meisenheim am Glan, 1958

GIBSON, C.H. (1973): Volvo Increases Productivity Through Job Enrichment. California Management Review, Summer 1973/Vol. XV/No. 4

GÖLTENBOTH, H. (1975): Praktische Arbeitsstrukturierung in einem Fotowerk. In Arbeitsstrukturierung in der deutschen Metallindustrie (3). Hrsg.: Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. Köln 1975, S. 25-37

GOTTSCHALL, D. (1973-1): Kein Pardon für einsame Entschlüsse, Manager Magazin 1/1973

GOTTSCHALL, D. (1973-2): ERfolgreich aus dem Takt gekommen. Manager Magazin 10/1973

GOTTSCHALL, D. (1974): Der Mann, der das Gras wachsen hört. Manager Magazin 7/1974

GOTTSCHALL, D. und JANDER, P.M. (1973): Den Arbeiter vom Diktat der Maschine befreien. Manager Magazin 7/1973

GRAF, O. (1954): Physiologische Leistungsbereitschaft und nervöse Belastung. Jahrbuch der Max-Planck-Gesellschaft S. 97 - 123

GROTHUS, H. (1972): Motivation durch Arbeitsbereicherung Industrial Engineering, 2/1972, H. 5, S. 261 - 272

GROTHUS, H. (1973): Wirksamkeitsorientierte Instandhaltungstheorie. Industrial Engineering, 3/1973, H. 1, S. 59 - 61

HACKSTEIN, R. und MATTHEE, R. (1974): Kostenoptimale Arbeitsteilung. REFA-Nachrichten 27/1974, Heft 6, S. 439 - 457

HAHN, R. (1972): Produktionsplanung bei Linienfertigung. Berlin, New York 1972

HAHN, R., LUTZ, L. und ROSCHMANN, K. (1968): Die Bandabgleichung - ein Problem bei Fließfertigung. Industrielle Organisation, 37(1968) Nr. 2

HALL, A.D. (1962): A Methodology for Systems Engineering Princeton, New Jersey, 1962

HARDECK, W. und SCHÖNFELDER, G. (1973): Rechnerunterstützte Austaktung von Fließlinien - eine praktische Anwendung des Helgeson und Birnie-Verfahrens. Arbeitspapiere des Betriebswirtschaftlichen Instituts der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Heft 10

HART, A. (1966): A chart for evaluating product research and development projects. Operational Research Quarterly, 17, 4, Dec., S. 347 - 358

HAUG, G. (1973-1): Fließband kontra Gruppenarbeit, REFA-Nachrichten 26/1973, Heft 6, S. 399

HAUG, G. (1973-2): Ansätze zur Arbeitsbereicherung durch Ausweitung der Gruppenarbeit. Mitteilungen d. Inst. f. a. Arb.wissenschaft, Nr. 42, Köln, September 1973, S. 14 - 22

HAUG, G. (1975): Zukunftsorientierte Arbeitsgestaltung in den Kleinserien und Einzelfertigung - Maßnahmen, Beispiele und Grenzen. Montage und Handhabungstechnik 2/1975. S. 8 - 11

HEINER, P.; MANN, W.E.; MUTZ, N. (1975): Technisch organisatorische Voraussetzungen zur Realisierung von Gruppenarbeit in der Produktion. In: Arbeitsstrukturierung in der deutschen Metallindustrie (3). Hrsg.: IfaA e.V. Köln 1975, S. 47 - 63.

HEINEN, E. (1966): Das Zielsystem der Unternehmung. Wiesbaden

HEINHOLD, J., GAEDE, K.-W. (1972): Ingenieur-Statistik, 3. Auflage, München/Wien

HELGESON, W.P. und BIRNIE, D.P. (1961): Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight Technique. Journal of Industrial Engineering, Vol. 12, No. 6, 1961, S. 394 - 398

HERTOG, F.J. und KERKHOFF, W.H.C. (1974): Vom Fließband zur selbständigen Gruppe. Industrielle Organisation, 43 (1974), Nr. 1, S. 21 - 24.

HERZBERG, F. (1968): One more time: How do you motivate employees. Harvard Business Review. Januar - Februar 1968

HERZBERG, F., MAUSNER, B. und SNYDERMAN, B. (1959): The Motivation to Work, New York, 1959

HETTINGER, T. (1975): Arbeitswissenschaft in der Betriebspraxis. Mitteilungen des IfaA, Nr. 60, Köln, Dezember 1975

HINTZE, H.-U. (1974): Gestaltung der menschlichen Arbeit bei Daimler-Benz. M. d. IfaA, Sonder-Nr. 49, Köln, Juni 1974, S. 1 - 38.

HOFFMANN, T.R. (1963): Assembly Line Balancing with a Precedence Matrix. Management Science, 9 No. 4, 1963, S. 551 - 563

HORNEY, H.-L. (1976): Motivationstheorien und ihre Bedeutung für den Betriebsalltag. Mitteilungen des IfaA, Nr. 61, Köln, Februar 1976, S. 20 - 38

HOSS, K. (1965): Fertigungsplanung mittels operationsanalytischer Methoden, Würzburg - Wien 1965

HUBER-LUTZ, P.H. (1974): Neue Formen der Arbeitsorganisation Industrielle Organisation 43 (1974) Nr. 1, S. 3 - 5

HOSS, K. (1965): Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden. Würzburg - Wien, 1965

IREDALE, R.: The Road to Automatic Assembly, In: New Scientist, 1966, Vol. 31, S. 672

JACKSON, J.R. (1956): A Computing Procedure für a Line Balancing Problem. Management Science, 2 No. 3, 1956, S. 261 - 271

JÄGER, R.: Gleitende und variable Arbeitszeit auch in der Fertigung? - ZwF 70/1975, Heft 1, S. 48 - 50

KELLNER, W. (1974): Selbstverantwortung am Arbeitsplatz, Arbeit und Leistung, 21/74, 28. Jahrg. S. 46 ff.

KERN, H., SCHUHMANN, M. (1970): Industriearbeit und Arbeiterbewußtsein. Teil I und II, Frankfurt a.M. (1970)

KILBRIDGE, M. und WESTER, L. (1961-1): The Balance Delay Problem. Management Science, October 1961, S. 69 - 84

KILBRIDGE, M. und WESTER, L. (1961 - 2): A Heuristic Method of Assembly Line Balancing. Journal of Industrial Engineering, 12 No. 4, 1961, S. 292 - 298

KIRN, A. und KRUSE, M. (1974): Leistung und Fehlleistung in konstitutionsbezogener Ergotop-Projektion (I) und (II) Arbeit und Leistung 7/1974, S. 186 - 190

KLAUSMANN, W.-S. und SCHÖNFELDER, G. (1975): Bestimmung von Nutzwertverteilungen durch numerische Faltung. Arbeitspapiere des Betriebswirtschaftlichen Instituts der Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen-Nürnberg, Heft 31

KÖSTLER, R. (1975): Nutzwertanalyse mit Hilfe der Simulation im Mensch-Maschinen-Dialog. Diplomarbeit, unveröffentlicht, Nürnberg 1975

LIKERT, R. (1961): New Patterns of Management, New York 1961

LINDHOLM, R. (1974): Neue Wege in der Arbeitsorganisation schwedischer Unternehmen. Mitteilungen d. IfaA, Sonder-Nr. 46, Köln, April 1974, S. 4 - 15

LINDNER, E. (1975): Plandaten zur Arbeitsstrukturierung in einem Büromaschinenwerk. In: Arbeitsstrukturierung in der deutschen Metallindustrie (3). Hrsg.: IfaA e.V., Köln, 1975, S. 38 - 46

LINGNAU, G. (1974): Eigenverantwortung statt Diktatur des Fließbands, FAZ v. 22.6.74

LIVINGSTONE, F.C. (1972): Sweden axes the assembly line. Quality Management + Engineering, 11 (1972), No. 9 September 1972

MENGES, G. (1965): Über Wahrscheinlichkeitsinterpretationen. Statistische Hefte, 6. Jahrgang, Heft 2

MERTENS, P. (1969): Simulation, Stuttgart 1969

MERTENS, P. und GRIESE, J. (1972): Industrielle Datenverarbeitung. Band 2, Informations- und Planungssysteme, Wiesbaden

MEYER, H.O. (1975): Erfahrungen mit Gruppenmontageplätzen am Beispiel eines Elektrogerätewerkes. Arbeitsstrukturierung in der deutschen Metallindustrie (2), Schriftenreihe des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. Köln, 1975

MICHAELS, H. (1972): Zweitausendmal am Tag der gleiche Handgriff, Zeit-Magazin vom 8.4.72

MICHEL, F. (1975): Vom Fließband zum Einzelarbeitsplatz Arbeitsstrukturierung mit MTM. Schriftenreihe des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft, Köln, März 1975, S. 58 - 92

MULLINS, P.J. (1973): Sweden's Volvo Tries a new Assembly Technique. Iron Age metalworking international 12 (1973) H. 1, S. 32 - 34

NESTLER, H. und PAPTISTELLA, R. (1974): Wirtschaftlichkeitsüberlegungen bei der Auswahl von Montageformen. Arbeitspapiere des Betriebswirtschaftlichen Instituts der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg Heft 23

NEUBERGER, O. (1974 - 1), Theorien der Arbeitszufriedenheit, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz 1974

NEUBERGER, O. (1974 - 2): Messung der Arbeitszufriedenheit, Stuttgart, Berlin, Köln, Mainz, 1974

ohne Verfasser (1972): Ft. Lauderdale experiment. Quality Management Engineering, 11 (1972), No. 6, June 1972, S. 12 - 14

ohne Verfasser (1974 - 1): Die Abschaffung des Fließbandes bewährte sich. Handelsblatt vom 7.1.1974

ohne Verfasser (1974 - 2): Arbeit am Fließband auflockern. Blick durch die Wirtschaft, 17. Jahrg. Nr. 40 v. 16.02.1974

ohne Verfasser (1974 - 3): Volvo Arbeiter bestimmen das Tempo der Produktion, Die Welt vom 09.08.74

ohne Verfasser (1974 - 4): Audi: teilweise ohne Fließband. Die Welt vom 3.12.1974

OLDANI, B. (1975): Neue Lösungen der Arbeitsorganisation bei LANDIS u. GYR, Mitteilungen des IfaA, Nr. 56, Köln, Mai 1975, S. 7 - 17

OSTERLAND, M. (1973): Aspekte der Lebens- und Arbeitssituation der Industriearbeiter. Gewerkschaftliche Monatshefte 8/73, 24. Jahrgang August 1973, S. 457 ff.

PENTZLIN, K. (1974): Die modernen Maschinenstürmer, FAZ vom 13.4.74

PFEIFFER, W. (1971): Allgemeine Theorie der technischen Entwicklung, Göttingen, 1971

PFEIFFER, W., STAUDT, E. (1976): Analyse der Konsequenzen für die Unternehmensplanung bei der Einführung neuer Formen der Arbeitsorganisation. - Ergebnisse einer Experimentreihe in der elektrotechnischen Industrie. Arbeitspapiere des Betriebswirtschaftlichen Instituts der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Heft 45

RACKEL, K. (1975): Neue Arbeitsstrukturen in einem Werk für Gartengeräte. In: Arbeitsstrukturierung in der deutschen Metallindustrie (3). Hrsg. IfaA e.V. Köln 1975. S. 64 - 84

REFA. (Hrsg.) (1971): Methodenlehre des Arbeitsstudiums. Darmstadt

RENYI, A. (1973): Wahrscheinlichkeitsrechnung, 4. Auflage, Berlin

REUTEBUCH, R. (1971): Montage Fließbänder für Uhren und Apparatebau. Feinwerktechnik, 75, 1971, Heft 2, S. 86 - 90

ROPOHL, G. (1971): Flexible Fertigungssysteme. Mainz, 1971

RÜHL, G. (1973): Arbeitsstrukturierung, Industrial Engineering Juni Nr. 3/1973, 3. Jahrgang, S. 147 - 197

SALVESON, M.E. (1955): The Assembly Line Balancing Problem. The Journal of Industrial Engineering, May-June 1955, S. 18 - 25

SCHARMANN, Th. (1973): Gruppendynamik und Monotonieproblem in der mechanisierten Produktion. Bern 1973

SCHLITZBERGER, H.H. (1975): Produktionssteigerung durch Zufriedenheit am Arbeitsplatz. In: Arbeitsstrukturierung in der deutschen Metallindustrie (2). Schriftenreihe des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft, Köln 1975, S. 38 - 54

SCHNEIDER, D. (1970), Investition und Finanzierung, Köln und Opladen, 1970

SCHWARTMANN, J. (1975): Gestaltung der menschlichen Arbeit in der betrieblichen Praxis. Arbeitsstrukturierung mit MTM-Schriftenreihe des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft, Köln, 1975, S. 26 - 39

SEIFERT, E. (1974): Weg von der Fließband Monotonie. Handelsblatt vom 10.06.74

SPRINGER, K. (1975): Ablaufgestaltung der Fertigung in der betrieblichen Praxis unter Berücksichtigung von Produktivität und Humanität. Arbeitsstrukturierung in der deutschen Metallindustrie (2), Schriftenreihe des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V., Köln 1975

STAUDT, E. (1974): Struktur und Methoden technologischer Voraussagen, Göttingen, 1974

STEFFEN, R.: Die Bestimmung von Taktzeit und Stationenzahl bei Fließbandfertigung unter Berücksichtigung von Lernprozessen, 1972, S. 99 ff.

STREBEL, H. (1969): Scoring Methoden als Entscheidungshilfen bei der Wahl von Forschungs- und Entwicklungsprojekten in: LAYER, M., STREBEL, H., (Hrsg.): Rechnungswesen und Betriebswirtschaftspolitik. Festschrift für Gerhard Krüger zu seinem 65. Geburtstag, Berlin

STREBEL, H. (1972): Zur Gewichtung von Urteilskriterien bei mehrdimensionalen Zielsystemen ZfB, 42, 2, S. 89 - 128

THORIN, H. (1974): Erfahrungen mit Gruppenarbeit im Rahmen der Dezentralisierungsbestrebungen bei der Firma Radio Mitteilungen des IfaA, Sonder-Nr. 44, Köln, Februar 1974, S. 35 - 46

TONGE, F.M. (1964/65): Assembly Line Balancing Using Probabilistic Combinations of Heuristics. Management Science. Vol. 11. Series A. 1964/65. S. 727 - 735

ULICH, E., GROSKURTH, P., BRUGGEMANN, A. (1973): Neue Formen der Arbeitsgestaltung, Frankfurt a.M. 1973

VILMAR, F. (1974): Industrielle Arbeitswelt. Stein/Nürnberg 1974

WALTERS, R.W. (1972): The Need for Job Enrichment is urgent. Journal of Industrial Engineering (July 72). S. 14 - 16

WARNECKE, H.J. (1975): Entwicklung und Einsatz arbeitserleichternder Handhabungsgeräte. Arbeitsstrukturierung in der deutschen Metallindustrie (2), Schriftenreihe des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft e.V., Köln 1975

WÄLTER, H. (1974): Vom Fließband zum Einzelarbeitsplatz, Mitteilungen des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft, Nr. 43, Köln, Jnauar 1974, S. 13 - 37

WEERTZ, P. (1974): IBM-Fabrik könnte das Modell einer "Human Factory" sein. Die Welt Nr. 64, v. 16./17.03.74

WEIL, R. (1973): Überblick über Ansatz und Entwicklung von Untersuchungen und Experimenten bei Philips. M. d. IfaA, Sonder-Nr. 41, Köln, September 1973, S. 8 - 14

WEIL, R. (1974 - 1): Die Bedeutung des Falles Klöckner-Moeller. (Einführung) M. d. IfaA, Sonder-Nr. 43, Köln,Januar 1974, S. 8 -12

WEIL, R. (1974 - 2): Die Bedeutung des Falles Klöckner-Moeller (Anmerkungen) M. d. IfaA, Sonder-Nr. 44, Köln, Februar 1974, S. 14 - 34

WEIL, R. (1974 - 3): Versuche mit neuen Formen der Zusammenarbeit in der dänischen Metallindustrie. M. d. IfaA Sonder-Nr. 45, Köln, März 1974, S. 8 - 31

WEIL, R. (1974 - 4): Veränderte Arbeitsformen bei Danfoss. M. d. IfaA, Sonder-Nr. 45, Köln, März 1974, S. 32 - 57

WEIL, R. (1974 - 5): Neue Formen der Arbeitsorganisation bei Saab - Scania. M. d. IfaA, Nr. 46, Köln, April 1974, S. 16 - 57

WEIL, R. (1974 - 6): Neue Arbeitsstrukturen bei Volvo. M. d. IfaA, Nr. 47, Köln, Mai 1974, S. 7 - 58

WEIL, R. (1975): Wie Veränderung der Arbeitswelt bei FIAT, Mitt. d. IfaA, Nr. 56, Köln, Mai 1975, S. 18 - 51

WEXLBERGER, L. (1975): Neue Arbeitsstrukturierung in der Großserienfertigung. Arbeitsstrukturierung mit MTM-Schriftenreihe des Instituts für angewandte Arbeitswissenschaft, Köln, 1975, S. 40 - 57

WILLENBACHER, K. (1975): Praktische Arbeitsstrukturierung In: Arbeitsstrukturierung in der deutschen Metallindustrie (3). Hrsg.: Institut für angewandte Arbeitswissenschaft e.V. Köln 1975, S. 6 - 24

WOITHE, G. und SCHMIGALLA, H. (1967): Auswahl der rationellsten Organisationsformen der Montage. Fertigungstechnik und Betrieb, 17. Jahrgang, Heft 7, Juli 1967, S. 393 - 397

YAMANE, T. (1967): Statistics, An Introductory Analysis. New York, Evanston and London

ZANGEMEISTER, C. (1970): Nutzwertanalyse von Projektalternativen. Scientific Control Systems LTD + Co. GmbH, Hamburg 1970

ZANGEMEISTER, C. (1971): Nutzwertanalyse in der Systemtechnik, 2. Auflage, München 1971

ZIEGLER, B. (1974): Moderne Arbeitsgestaltung in der Motoren-Montage. M. d. IfaA, Nr. 51, Köln, Juni 1974

ZINK, K. (1975 - 1): Differenzierung der Theorie der Arbeitsmotivation von Herzberg zur Gestaltung sozio-technologischer Systeme, Diss. Karlsruhe 1975

ZINK, K. (1975 - 2): Ergebnisse empirischer Motivationsforschung, Zeitschrift für Arbeitswissenschaft, 1975, 29, S. 104 - 110